UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 298

Contribution à l'étude du métabolisme de la silice chez la plante

Variations locales de la silice et des divers autres éléments chez le blé au cours de la maturation
L'absorption de la silice au cours de la germination

Travail du Laboratoire de Pharmacie et Pharmacologie
de la Faculté mixte de Médecine et de Pharmacie de Lyon
et du Laboratoire de la Pharmacie
de l'Hôpital départemental du Vinatier

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie

le 12 Juillet 1939

PAR

SUN YUN-TAO

Né le 21 Juin 1913, à KAO-YU (Chine)

LYON

BOSC Frères M. & L. RIOU

IMPRIMEURS-ÉDITEURS

42, Quai Gailleton, 42

1939

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU MÉTABOLISME DE LA SILICE CHEZ LA PLANTE

SUN YUN-TAO

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554210_0042

UNIVERSITÉ DE LYON

FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE - N° 298

Contribution à l'étude du métabolisme de la silice chez la plante

Variations locales de la silice et des divers autres éléments chez le blé au cours de la maturation
L'absorption de la silice au cours de la germination

Travail du Laboratoire de Pharmacie et Pharmacologie
de la Faculté mixte de Médecine et de Pharmacie de Lyon
et du Laboratoire de la Pharmacie
de l'Hôpital départemental du Vinatier

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DE L'UNIVERSITÉ DE LYON

SECTION DE PHARMACIE

présentée et soutenue publiquement devant la Faculté de Médecine et de Pharmacie
le 12 Juillet 1939

PAR

SUN YUN-TAO
Né le 21 Juin 1913, à KAO-YU (Chine)

LYON
BOSC Frères M. & L. RIOU
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
42, Quai Gailleton, 42

1939

PERSONNEL DE LA FACULTE

Doyen honoraire ..... M. L. HUGOUNENQ
Doyen ..... M. J. LEPINE.
Assesseur ..... M. A. MOREL.

PROFESSEURS HONORAIRES

MM. LANNOIS, HUGOUNENQ, PIC, CONDAMIN, PAVIOT, NICOLAS, VILLARD,, NOVE-JOSSERAND, TIXIER, COLLET, GAYET, CLUZET

PROFESSEURS

Cliniques médicales	MM. FROMENT SAVY.
Cliniques chirurgicales	PATEL. BERARD.
Clinique obstétricale et Accouchements	VORON.
Clinique ophtalmologique	BONNET.
Cliniques dermatologique et syphiligraphique	FAVRE.
Clinique neurologique et psychiatrique	LEPINE (J.).
Clinique médicale infantile	MOURIQUAND
Clinique gynécologique.....	COTTE.
Clinique Oto-rhino-laryngologie	REBATTU.
Clinique urologique.....	CIBERT.
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	TAVERNIER.
Clinique et prophylaxie de la tuberculose	COURMONT
Clinique des maladies infectieuses	J. CHALIER
Physique biologique, Radiologie et Physiothérapie	PONTHUS.
Chimie biologique et médicale	FLORENCE
Chimie organique et Toxicologie	MOREL.
Matière médicale et Botanique	MANCEAU.
Parasitologie et Histoire naturelle médicale	GUIART.
Anatomie	LATARJET
Histologie	POLICARD.
Physiologie	HERMANN.
Pathologie interne	CORDIER.
Pathologie générale et thérapeutique	CADE.
Anatomie pathologique	J.-F. MARTIN.
Chirurgie opératoire	SANTY.
Médecine expérimentale et comparée et Bactériologie	ARLOING (F.)
Médecine légale	Etienne MARTIN
Hygiène	ROCHAIX.
Pharmacie et Pharmacologie	LEULIER.
Hydrologie thérapeutique et Climatologie	PIERY.

PROFESSEURS TITULAIRES SANS CHAIRE

Chargé d'un cours d'Anatomie médico-chirurgicale	MM. THEVENOT (Léon)
Chargé d'un cours d'Embryologie	NOEL.

AGREGES

MM.	MM.	MM.	MM.
GABRIELLE	GUILLEMINET	DE ROUGEMONT	MORIN
DECHAUME	MORENAS	P. RAVAULT	BERTRAND
BERNHEIM	REVOL	PIGEAUD	CLAVEL
POLLOSSON	ENSELME	CROIZAT	LEVRAT
CHAMBON	SEDALLIAN	DELORE	
EPARVIER	CREYSSEL	JOSSERAND	

EXAMINATEURS DE LA THESE

MM. LEULIER, *président* ; MANCEAU, *assesseur* ;
CHAMBON et REVOL.

La Faculté de Médecine de Lyon déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs, et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.

A la Mémoire de mon Père

Tendre souvenir, vive reconnaissance.

A ma Mère

Faible témoignage de gratitude et d'affection.

A mes Frères et ma Sœur

A Monsieur le Doyen J. LEPINE

Doyen de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon
Professeur de Clinique Neurologique et Psychiatrique
Président de l'Association Franco-Chinoise
Associé National de l'Académie de Médecine
Membre de l'Institut
Officier de la Légion d'honneur

Hommage de profonde gratitude et de vive reconnaissance.

A NOTRE PRÉSIDENT DE THÈSE

MONSIEUR LE PROFESSEUR A. LEULIER

Professeur de Pharmacie et de Pharmacologie
à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de Lyon
Officier de la Légion d'honneur

Qui nous a fait le grand honneur de présider cette thèse.

Nous le prions de recevoir le témoignage de notre profonde reconnaissance.

A NOTRE JURY DE THÈSE

A NOTRE MAÎTRE

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGRÉGÉ L. REVOL

Pharmacien-Chef de l'Hôpital Départemental du Vinatier

Nous n'oublierons jamais combien nous lui devons pour la bienveillance qu'il nous a témoignée, dans l'accomplissement de ce travail.

Qu'il veuille bien accepter l'expression de notre profonde gratitude.

A notre ancien Maître

Monsieur le Docteur TSU MIN-YEE

Directeur de la Faculté de Pharmacie
de l'Université Franco-Chinoise à Shanghaï
Membre de la Commission Politique Centrale
de la République Chinoise
Ancien Secrétaire d'Etat

A notre ancien Maître

Monsieur le Docteur SUNG WOO-SEN

Doyen de la Faculté de Pharmacie
de l'Université Franco-Chinoise à Shanghaï
Directeur de l'Institut Belgico-Chinois du Radium à Shanghaï

A MES AMIS

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DU MÉTABOLISME DE LA SILICE CHEZ LA PLANTE

AVANT-PROPOS

Avant d'aborder l'exposé de notre travail nous tenons à exprimer, comme notre premier devoir, à Monsieur le Professeur Leulier, tous nos sentiments de profonde reconnaissance et de gratitude, pour la haute bienveillance qu'il nous a témoignée, pour les conseils précieux qu'il n'a cessé de nous donner au cours de nos travaux.

Nous prions Monsieur le Professeur Manceau et Monsieur le Professeur Agrégé Chambon d'agréer notre reconnaissance pour l'honneur qu'ils nous ont fait en s'intéressant à nos travaux et en acceptant de faire partie de notre Jury de Thèse.

Nous remercions profondément Monsieur le Professeur Agrégé Revol de nous avoir dirigé, pas à pas, au cours de ce travail, dont il a été l'animateur.

A Monsieur le Docteur Fouillouze, Chef de Travaux Pratiques de Pharmacie et Pharmacologie, nous sommes heureux d'exprimer ici nos remerciements les plus sincères pour les conseils éclairés sur les techniques nécessaires au laboratoire.

Nos remerciements les plus sincères vont aussi à notre Maître de la Faculté de Pharmacie de l'Université Franco-Chinoise, Monsieur le Docteur Sung Woo-Sen, qui nous a donné les plus grands encouragements au cours de nos études.

Nous n'oublions pas l'amitié de nos camarades, Messieurs Washing Chu, Y. W. Wu et la fraternité de mes frères. Ils nous ont toujours aidé et guidé.

Nous remercions enfin l'Association Universitaire Franco-Chinoise qui a généreusement subventionné ces recherches.

INTRODUCTION

On sait depuis longtemps que les Graminées sont des « plantes à silice ». C'est cette silice qui rend leurs feuilles coupantes, c'est à elle aussi qu'on attribue la rigidité des chaumes.

Cependant le métabolisme de la silice chez la plante est mal connu. On a essayé de suivre son absorption et son accumulation dans certains tissus, mais on ignore la forme sous laquelle elle est véhiculée, on ignore aussi le mécanisme de son dépôt. Elle pénètre dans la plante dès la germination et son absorption continue pendant tout le développement et cependant son rôle demeure obscur. Est-il uniquement d'ordre mécanique ou bien la silice intervient-elle dans la vie des cellules ?

Ce sont là des problèmes d'autant plus complexes que même la répartition de la silice suivant le moment de la vie de la plante et selon ses organes demeure imprécise, tant sont délicats et longs les dosages de silice.

Dans ce modeste travail, notre but a surtout été d'étudier cette répartition. Nous avons choisi comme type une plante riche en silice, le blé, et une méthode de dosage éprouvée, la méthode à l'acide perchlorique.

Deux moments de l'évolution du blé ont été retenus : la germination et la maturation. Nous avons dosé, à divers stades de la maturation, la silice dans diverses parties de la plante. Et nous avons été amené, pour situer les variations de la silice dans le milieu mouvant, à établir des points de repère, en effectuant également le dosage de divers témoins des variations de composition de ce milieu.

Ce travail est évidemment fort incomplet. Nous croirions cependant avoir fait œuvre utile, si par les critiques qu'il suscitera, il attirait l'attention des chercheurs sur le métabolisme de la silice chez la plante.

PLAN DU TRAVAIL

PREMIÈRE PARTIE. — Généralités.

I. — Généralités sur le métabolisme de la silice.

II. — Données esentielles sur le développement normal du blé.

DEUXIÈME PARTIE. — Recherches personnelles.

Techniques utilisées.

Recherches sur la silice au cours de la maturation du blé.

Essais de 1937.

Essais de 1938.

Recherches sur l'absorption de la silice au cours de la germination du blé.

Conclusions.

Bibliographie.

PREMIERE PARTIE

GENERALITES

I. — GENERALITES SUR LE METABOLISME DE LA SILICE

La silice est universellement répandue, et dans le sol et dans la plante, c'est un élément banal. Cependant son métabolisme n'a pas donné lieu à des recherches très nombreuses, et cela tant à cause de la difficulté de son étude qu'à cause du rôle obscurément inutile qui lui est souvent prêté.

L'un des premiers Pierre en 1866 (54) à l'occasion de recherches sur la verse des blés, fait l'inventaire de la silice chez le blé. On savait à l'époque que les cendres de la paille de blé renfermaient de grandes proportions de silice et on attribuait à cette silice la rigidité des tiges. De là l'hypothèse que la verse ne pouvait provenir que d'un manque de silice, et que dès lors le seul remède est de fournir à la plante cette silice par addition au sol de silice gélatineuse, ou de feldspaths pulvérisés. Is. Pierre, après avoir protesté contre l'interprétation hâtive donnée à l'analyse des cendres, et signalé que le chaume des blés versés renferme souvent plus de silice que celui du blé non versé, expose les résultats de ses essais qui ont porté sur la plante normale, prise non plus dans son ensemble, mais en analysant séparément les feuilles, les nœuds, les entre-nœuds. Les feuilles sont

de beaucoup les plus riches en silice, puis, venant loin derrière, les entre-nœuds, et encore loin derrière, les nœuds. Il y a 7 à 8 fois moins de silice dans les nœuds, 4 à 5 fois moins dans les entre-nœuds, que dans les feuilles. Et parmi les entre-nœuds, les plus pauvres sont ceux de la base, ce qui laisse entendre à l'auteur que la silice ne joue aucun rôle dans la question de la verse du blé[1].

Il n'est pas moins vrai que la silice se trouve en plus ou moins grande quantité dans toutes les plantes. Quel est donc son rôle ? Est-elle seulement indispensable ? Il ne le semble pas si l'on en croit les expériences de Jodin (34) qui cultive pendant plusieurs générations du maïs dans un milieu dépourvu de silice. Le maïs, une Graminée, c'est-à-dire une de ces plantes si riches normalement en silice, peut donc s'en passer aisément. Bien qu'on ait reproché à Jodin d'avoir réalisé ses expériences dans des vases de verre, susceptibles de céder de la silice, ses conclusions sur l'absence du rôle indispensable de la silice chez le maïs ont été confirmées plus récemment par Mazé (46).

André étudie l'évolution de la matière minérale pendant la germination, jusqu'au moment où le poids

(1) Actuellement ces vues sont entièrement confirmées. A la suite des travaux de Koch et de ceux d'autres auteurs, on attribue la verse mécanique à l'étiolement de la base du chaume qui succède à une abondante production de feuilles radicales, d'où une diminution d'éclairement et l'étiolement qui suit. Plus la terre est riche en azote, plus la verse est fréquente (céréales après Légumineuses, ou bien exemple plus objectif : sur l'emplacement des tas de fumier). Par contre, les phosphates sont des préventifs (Delacroix) (19).

sec, après avoir diminué constamment, revient au niveau qu'il occupait dans la graine (2). Et l'auteur, qui expérimente sur le haricot d'Espagne, note qu'à ce moment les cendres totales ont triplé, ce qui témoigne d'une absorption minérale considérable, mais les divers constituants de ces cendres n'ont pas subi une augmentation parallèle. C'est ainsi que la chaux passe de 1 à 17, tandis que la silice passe de 1 à 100 et même 1 à 400 dans certaines expériences. D'autre part, tandis que la chaux est surtout absorbée dans les premiers stades, le phosphore et la potasse surtout à la fin, la silice l'est d'une manière continue et très régulière. Que signifie cette régularité du phénomène ? Est-elle en relation avec la transformation de la cellulose facilement saccharifiable en une cellulose difficilement saccharifiable ? André en émet du moins l'hypothèse, tout en soulignant l'obscurité du rôle de la silice, que par ailleurs il ne croit pas indispensable. Mais il relève, dans ces expériences, une idée importante. C'est la facilité avec laquelle la silice est absorbée et transportée, qui contraste avec le comportement des sels de potassium et des phosphates, qui, bien que très diffusibles, ne sont absorbés que seulement dans la dernière période de la germination.

Un petit nombre d'autres recherches concernent encore la silice, mais elles sont très fragmentaires, et il faut bien le dire, occasionnelles. Nous voulons dire effectuées à l'occasion de recherches sur d'autres ions. C'est ainsi que dans l'important mémoire que Nicolas (49), a consacré à la revue de travaux de phy-

siologie végétale de 1910 à 1919, alors que l'exposé de recherches concernant les autres éléments occupe plusieurs dizaines de pages, pas une ligne ne concerne la silice. Pourquoi cet ostracisme ? Parce que la silice apparaît comme un élément de dosage délicat dont les composés sont difficiles à atteindre et à identifier.

Il nous paraît intéressant, au début de ce travail, d'établir à la lumière des recherches anciennes et des travaux récents, une vue d'ensemble de ce que l'on sait du métabolisme de la silice, en envisageant la question non seulement sous l'angle statique, les plantes à silice, la localisation et l'état de ce métalloïde dans la plante, mais encore sous l'angle dynamique, son absorption, son transport et son accumulation, enfin son rôle éventuel.

A. — La silice dans le sol

La silice existe dans le sol en grande abondance sous forme de silicates complexes, qui se dissolvent lentement dans l'eau. La silice libre se retrouve dans les eaux telluriques.

Schloesing fils, d'après Molliard (47), a montré par la méthode de déplacement que l'eau du sol tenait en pseudo-solution de 29-48 milligrammes de silice par litre, chiffre évidemment faible, mais qui conserve une certaine constance, la dissolution se reconstituant à mesure qu'elle s'épuise, par le jeu des

doubles décompositions entre les silicates insolubles et les sels solubles de potassium ou de sodium.

La silice affecte aussi dans le sol la forme de quartz et de silice hydratée. Elle tend dans tous les cas à donner une forme colloïdale dont le rôle dans le sol est surtout physique, celui de fixer les minéraux importants pour la nutrition des plantes, et à ce point de vue elle intervient à la façon d'autres colloïdes minéraux (hydrate ferrique) ou organiques (humus). Est-ce sous cette forme colloïdale qui se retrouve dans les eaux du sol, que la silice est absorbée par la plante, et qu'elle peut y circuler, en attendant d'y prendre une forme stable (André) (4), ou bien est-elle absorbée sous forme d'ion silicate (Harvey) (27) ?

B. — Les plantes à silice

Bien que peu soluble dans l'eau, la silice peut être enlevée au sol dans des proportions considérables. C'est ainsi qu'on estime que, annuellement, un hectare de Légumineuses enlève près de 10 kgs de silice, un hectare de hêtre 63 kgs, un hectare de blé 105 kgs. La silice représente plus de la moitié des matières minérales que le blé tire du sol (Molliard) (47).

La silice constitue un des éléments dont la présence est constante dans les cendres des végétaux, mais les exemples cités plus haut indiquent que sa répartition n'est pas régulière. Certaines plantes en sont particu-

lièrement pourvues comme les Graminées, chez les plantes supérieures ; les Equisétinées chez les Cryptogames vasculaires et les Diatomées chez les Algues. Pour 100 parties de cendres, on compte 63 parties de silice dans la paille de riz, 70 parties dans certaines espèces d'*Equisetum*, de là le nom de « plantes à silice » qu'on leur a donné, et qui les distingue des « plantes à calcium » (cas de beaucoup de Légumineuses) et des « plantes à potasse » (cas de l'artichaut ou de la pomme de terre).

Localisation :

Pas plus que d'une plante à l'autre, la distribution de la silice n'est régulière entre les divers organes d'une plante donnée. Ce que I. Pierre avait déjà signalé, au sujet du blé, a été vérifié sur d'autres plantes par divers auteurs. C'est ainsi que chez l'artichaut comme chez le blé, c'est la feuille qui est de beaucoup la plus riche. Elle en renferme 14 fois plus que la racine et 10 fois plus que la tige. Il est curieux de remarquer que la feuille présente, selon les espèces, une sorte de balancement entre la chaux et la silice, telle espèce, comme le châtaignier, présentant dans ses cendres 75 % de chaux (CaO) et 1 à 5 % de silice (SiO^2), alors que les roseaux (*Phragmites*) donnent 66 % de silice et 5 % de chaux. Ce même balancement se retrouve dans les écorces, mais il est moins marqué car les cendres des écorces ne sont jamais très riches en silice. Les tubercules, comme la racine, sont pauvres en silice. Les graines

en sont généralement bien plus pauvres encore, surtout l'embryon (à peine 0,20 % chez le maïs).

Si l'on pousse plus loin la localisation, jusqu'au plan histologique et même cytologique, on s'aperçoit que la silice est assez strictement localisée. C'est ainsi que pour la feuille, c'est l'épiderme et ses productions qui sont imprégnés de silice. Tantôt elle s'observe à la surface de la membrane squelettique, comme c'est le cas chez les Palmiers et chez certaines Fougères, tantôt, et c'est le cas le plus fréquent, elle est incluse dans cette membrane. Ainsi se présentent les Equisétacées, les Graminées et aussi les Boraginées dont les poils de l'épiderme sont silicifiés. Plus la feuille est vieille, plus son épiderme est silicifié et coupant. Tantôt enfin, il se forme de véritables dépôts, à l'intérieur même des cellules, dépôts qui se présentent sous forme de petites masses opalines, à double réfringence, qui peuvent occuper toute la cavité cellulaire.

La tige est aussi quelquefois silicifiée en surface. Mais dans le cas de certains bambous, elle offre en outre des concrétions blanches, surtout abondantes sur les diaphragmes et que l'on nomme des tabaschirs. Ces tabaschirs, qui pèsent jusqu'à 100 milligrammes, sont constitués par de la silice presque pure (98,4 à 99,7 SiO^2 %) (Kahane) (36).

Des concrétions analogues de silice, mais de dimensions beaucoup moindres, remplissent les cellules de péricarpe ou d'endocarpe de certains fruits — telles celles qu'on peut isoler par incinération de l'endocarpe des *Phytelephas* ou qui imprègnent la

membrane de poils de certaines fibres comme celle du mésocarpe de noix de coco (Stegmata).

Etat dans la plante :

Il semble bien que le silicium existe dans la plante sous deux états : dans l'un, il s'agit de silicates solubles qui circulent ou qui se trouvent dissous dans le suc de vacuoles, dans l'autre de silice insoluble, concrétionnée dans les cavités cellulaires ou imprégnant la membrane des cellules. Certains auteurs parlent aussi de combinaisons organiques de silicium, par exemple, avec les polysaccharides (couche périphérique du grain d'amidon). Nous y reviendrons plus loin.

En réalité, l'état de la silice dans la plante est encore imprécis. En effet, les essais sur lesquels on se base, qu'ils soient d'ordre microchimique ou d'ordre macrochimique, ne sont pas très probants :

— d'ordre microchimique : si la formation de fluosilicate de sodium permet de conclure à la présence de silice, par contre cette réaction n'apprend rien sur son état. Seule la constatation de dépôts persistants de silice concrétionnée permet d'avoir une précision.

— d'ordre macrochimique : le dosage de la silice dans les cendres n'apporte pas plus de renseignements qualitatifs.

Dehérain avait autrefois effectué des expériences comparatives rapportées par André (4), en soumettant les végétaux à un traitement par une solution alcaline faible et chaude. Tantôt la silice résistait à

l'attaque, tantôt elle se trouvait dissoute. Par exemple, elle résistait dans la paille de blé, dont les cendres comporteraient 70 % de silice (SiO^2) avant le traitement alcalin et 93 % après le traitement, tandis que la silice du bois de chêne était entièrement dissoute : l'auteur trouvait en effet 21 % de silice dans les cendres du bois non traitées, alors qu'il n'y en avait plus trace après le traitement.

Mais ces expériences, malgré tout l'intérêt qu'elles présentent, demeurent très grossières et ne permettent pas de se faire une opinion sur l'état de la silice dans les pailles de blé, ou dans le bois de chêne. Elles mettent seulement en évidence une différence, dans un cas la silice est insoluble, dans l'autre elle se dissout.

Absorption, circulation :

De même que la question des divers états sous lesquels se trouve la silice dans la plante reste controversée, de même les auteurs ne s'accordent guère sur l'état de la silice absorbée par les racines et de la silice qui circule. Certains la croient à l'état colloïdal et s'étonnent de la facilité avec laquelle elle est absorbée et circule dans la plante (André) (2). Il est vrai qu'on suppose une solubilisation grâce au gaz carbonique abondamment dissous dans le suc cellulaire (André) (4). D'autres croient que la forme absorbée et qui circule est un silicate de potassium (Joulie d'après André) (4).

Si l'on ne s'accorde pas sur le mécanisme, l'accu-

mulation de la silice dans certains organes ou dans certaines parties d'organes prouve cependant que l'absorption a lieu et souvent selon un rythme accéléré.

Nous avons déjà rappelé qu'André avait indiqué que dans les premiers temps de la germination, c'est la silice qui pénètre le plus vite et le plus abondamment dans la plantule, elle y pénètre bien avant le phosphore ou le potassium.

Dans des recherches ultérieures, André (1912) (3) étudie la distribution des substances minérales au cours de l'évolution de l'orge. Là il remarque que les bases se séparent en deux groupes : les bases alcalines, potassium et sodium, après une absorption importante, subissent dès le début de la floraison une sérieuse diminution. Le potassium extrêmement diffusible, parce que toujours à l'état de sels ionisés, retourne vers le sol. Au contraire, la chaux, la magnésie, continuent à être absorbées, transformées qu'elles sont dans la plante en sels insolubles. Les métalloïdes, azote, soufre, phosphore se comporteraient comme la chaux et la magnésie, leur transformation en dérivés organiques leur faisant perdre leur ionisation (on peut, dès maintenant, sous-entendre que la silice doit se comporter de même, puisqu'elle s'insolubilise dans la plante).

L'accumulation de la silice dans les feuilles âgées est classique. L'exemple rapporté par Harvey (27) précise cette accumulation dans les feuilles de hêtre.

	Cendres p. 100 du poids sec	Oxydes p. 100 de cendres			
		K^2O	CaO	P^2O^5	SiO^2
16 mai	4,1	42,1	13,8	32,4	1,6
18 juillet . . .	4,7	17,1	42,3	8,2	21,3
15 octobre ..	7,1	7,1	50,6	5,1	30,5

Ces chiffres sont probants, mais l'augmentation de la silice (et de la chaux) sont encore plus apparents si le calcul porte non pas sur un certain poids de feuilles, mais sur leur nombre. Alors on voit à mesure que la saison s'avance, le potassium et le phosphore subir une forte migration vers la tige tandis que le calcium et la silice ne cessent de s'accumuler.

Cette accumulation de silice, constatée dans ces deux expériences, dont l'une porte sur le renouveau de la vie végétale, l'autre sur la fin temporaire de la végétation, semble liée à un même facteur, la transpiration. On sait que la transpiration joue un rôle primordial dans l'augmentation des cendres. Mais une expérience de Schlœsing rapportée par Molliard (47) précise le fait. Des cultures de tabac sont faites comparativement à l'air libre et sous une cloche dans une atmosphère saturée. Le poids total de cendres est plus élevé dans le premier cas que dans le second. Il y a donc une certaine corrélation entre l'importance de la transpiration (3 fois plus intense à l'air libre que sous cloche) et l'accumulation de cendres. Mais les composants de ces cendres n'ont pas dans tous les cas le même comportement. Tandis que le phosphore, l'azote sont proportionnellement plus abondants dans les cendres des plantes sous cloche, au contraire, la silice est plus de deux fois plus

importante dans les plantes dont la transpiration a été intense. Et cette expérience dirigée primitivement vers un tout autre but, apporte un argument important sur le rôle de la transpiration dans l'absorption et la circulation de la silice. Ceci est un point à retenir.

La présence dans le substratum de silice assimilable réalise un autre point. La forme sous laquelle existe la silice du substratum est importante. C'est ainsi que Coupin a montré d'après André (4) que *Nitzschia linearis,* une Diatomée, ne pouvait former sa carapace qu'avec la silice cédée par des silicates d'aluminium (kaolin, feldspathorthose, argiles) ; pour elle, la silice gélatineuse, la silice des silicates alcalins solubles, la silice du verre sont inutilisables.

Il est probable que la forme assimilable varie selon les plantes, et c'est parce qu'on avait cru que les silicates alcalins solubles devaient seuls être assimilés que l'on avait répandu du silicate de soude comme source de silice.

Mais on ne saurait perdre de vue un troisième point qui est la faculté de choix que chaque espèce de plante est susceptible de faire dans l'absorption des éléments du substratum.

Sans doute, la plus ou moins grande proportion de silice dans le sol joue son rôle dans la proportion de silice dans les cendres de la plante. Mais il n'empêche que la plante est capable de faire un choix. C'est ainsi que même sur un terrain pauvre en silice, les Graminées, les prêles en présenteront une forte pro-

portion dans les cendres. Cette faculté de choix se manifeste à l'égard de la silice comme à l'égard des autres éléments. Une vieille expérience rapportée par Molliard (47), effectuée sur une plante aquatique, *Lemna trisulca*, consiste à doser divers éléments dans l'eau et dans la plante et l'on voit la plante capter électivement certains éléments et, par contre, en éviter d'autres (les chiffres sont vraisemblablement donnés par kilog.).

	P^2O^5	SiO^2	K^2O	CaO
Eau	3,4	4,2	5,1	45,6
Lemna	11,4	16,0	18,3	21,9

Par contre, d'autres plantes bien que vivant sur un milieu siliceux, pauvre en calcaire, absorbent électivement ce calcaire en évitant soigneusement l'absorption de silice. C'est le cas du châtaignier dont les feuilles renferment une proportion de calcaire représentant jusqu'à 3/4 de leurs cendres, alors que la silice n'y existe qu'à l'état de traces (d'après Molliard) (47).

Le dépôt de silice :

Il a été dit plus haut que la silice se trouvait fréquemment sous forme de dépôt. Si l'on conçoit qu'une grande quantité de silicium circule dans la plante, d'un bout à l'autre de la saison, à la faveur d'une transpiration abondante, on comprend que la seule évaporation de l'eau puisse laisser un dépôt de silicium. Or les dépôts sont formés de SiO^2. C'est SiO^2

qui imprègne les épidermes, c'est SiO^2 qui remplit certaines cavités cellulaires, c'est encore SiO^2 qui forme les tabaschirs.

SiO^2, forme insoluble, est en effet la seule qui puisse s'accumuler. Mais comment parvenir à cette forme stable ? Si la silice parcourt la plante à l'état de silicate alcalin, comment expliquer la précipitation de SiO^2 dans les organes de la transpiration ? Si la silice circule à l'état d'hydrosol solubilisé par l'acide carbonique, peut-on supposer qu'elle est floculée au moment où s'effectue la dissociation de l'acide carbonique au cours de la transpiration? Cette dernière hypothèse est séduisante. Elle s'accorde avec la propriété de la silice gélatineuse, de se dissoudre dans les acides lorsqu'elle est fraîchement précipitée et de reprécipiter quand le milieu est neutralisé.

La fixation de la silice pourrait aussi revêtir, selon certains auteurs, une autre forme, celle de la fixation par des substances organiques ; fixation pouvant affecter la forme de combinaisons organiques de silice. La présence de silice dans la zone périphérique du grain d'amidon n'est pas admise par tous, pas plus que la fixation par la cellulose.

Rôle de la silice :

Quoi qu'il en soit, la question se pose depuis longtemps de savoir quel rôle, un élément aussi facilement absorbable et qui se fixe en si grande quantité est susceptible de jouer dans la vie de la plante.

Ce rôle serait d'abord physique, le maintien de

la rigidité de la plante. Le chaume des Graminées, dont les couches extérieures ont les parois silicifiées, perdrait de sa raideur si la silice n'entrait pas dans la structure de sa charpente.

Nous avons déjà signalé que ce rôle de soutien est chez les plantes, tantôt dévolu au calcium, tantôt au silicium. Silice et chaux ont un caractère commun ; c'est leur absorption continue et l'augmentation continue de leur taux dans les feuilles, tandis que d'autres éléments, phosphore, soufre, potassium subissent dès le début de l'automne une forte diminution.

L'imprégnation par la silice des parois des cellules épidermiques jouerait occasionnellement un autre rôle qui n'est pas négligeable, celui de protéger les plantes contre les parasites et spécialement contre les parasites cryptogamiques (Harvey) (27).

Des expériences ont été reprises récemment par Germar (23). Des cultures de seigle, de blé, d'orge ont été réalisées sur sable. Lorsque ces céréales se sont développées sur sable additionné de silice colloïdale, leur résistance à l'*Erysiphae graminis,* le « blanc » des céréales, s'est montrée nettement améliorée. Par contre, il ne semble pas que le même procédé ait été d'un effet bien manifeste sur la résistance du seigle à *Puccinia,* de l'avoine à l'*Helminthosporium* et des céréales en général aux charbons et au *Colletotrichum.* Il semblerait donc, d'après ces expériences, que seuls les « blancs » qui sont des parasites de surface, seraient gênés par l'imprégnation des épidermes par la silice.

Mais il n'est même pas très sûr que la silice ne

joue qu'un rôle mécanique. Sommer (60) rapporte des expériences de cultures du millet sur un milieu dépourvu de silice. Les plantes se développent avec retard et avec un rendement très inférieur aux plantes témoins. Et les semences de seconde génération, qui ont par ailleurs quelques difficultés à germer, sont rapidement envahies par des moisissures, alors que les semences témoins, placées aux côtés des autres et dans la même condition, germent ordinairement sans présenter la moindre attaque par les moisissures. Ces expériences, plusieurs fois renouvelées, laisseraient entendre que l'absence de silice ferait perdre une partie de la vitalité de la graine. Mais ceci pose la question de la nécessité de la silice pour la plante, sur laquelle nous reviendrons tout à l'heure en manière de conclusion.

Nous avons vu précédemment que certains auteurs ont soutenu que la silice peut également se trouver dans la plante, non plus sous forme de dépôts, mais d'une sorte de combinaison avec certains corps organiques insolubles. André (2) émet, après I. Pierre, Dehérain, Berthelot et André, l'hypothèse d'une relation étroite entre la silice et la cellulose et cette dernière deviendrait, sous l'influence de cette « sorte de combinaison », difficilement saccharifiable. Actuellement, il ne semble pas qu'on retienne cette façon de voir ; que la silice imprègne les parois cellulosiques, tout le monde l'admet, mais c'est une pénétration purement physique. Par contre, certains auteurs croient à une véritable combinaison de la silice et de glucides condensés dans les grains d'amidon.

L'amidon renferme en effet une partie minérale relativement faible, il est vrai (0 gr. 30 % dans la fécule de pomme de terre : Jacquelain, d'après Grignard (26)), mais constante. Et les cendres sont formées de phosphore, silicium, calcium, magnésium et potassium. Malfitano et ses collaborateurs (d'après Grignard) (26), croient à l'existence d'anion amylose-phosphorique et amylose-silicique à l'état de sels de potassium ou de sodium (et alors l'amidon serait soluble) ou de sels de calcium ou de magnésium (amidon insoluble). Ces sels tiendraient sous la dépendance par une liaison mal déterminée le complexe glucidique. Samec admet lui aussi que l'acide phosphorique ferait partie du complexe de l'amidon (pour lui, l'amidon serait un éther glucidique de l'acide mono-amylose-phosphorique). Par contre, comme cet auteur est arrivé à enlever toute la silice de l'amidon par simple traitement à l'acide chlorhydrique ou à l'acide fluorhydrique, il pense que toute la silice de l'amidon ne serait qu'un produit d'adsorption (Schoen) (58). Enfin, d'autres auteurs, et il semble bien que ce soit l'opinion qui, actuellement, prévaut, croient que toutes les matières minérales trouvées dans l'amidon, n'y sont retenues que par adsorption. Quoi qu'il en soit, il est absurde de parler d'une accumulation de silice sous forme d'amidon, quand on songe à l'infime proportion de silice qui se trouve sous cette forme en regard de l'énorme quantité déposée dans l'épiderme ! Et, d'autre part, le manque de certitude à l'égard des relations de la silice avec les glucides ne permet pas de dire si la silice est vé-

ritablement utile à la constitution de l'amidon, ou bien si elle n'y est qu'occasionnellement fixée.

Une question plus importante est celle du rôle que la silice est susceptible de jouer dans le remplacement du phosphore chez la plante.

D'après Hall et Morison (cités par André (4) et par de nombreux auteurs), la silice fournie à une Graminée sous forme de silicates solubles aurait une influence réelle sur la formation de la graine, influence analogue à celle de l'acide phosphorique. Quelle est la nature du rôle des silicates dans leur vicariance des phosphates ? Le phosphore chez la plante joue un rôle important surtout sous ses formes organiques, en participant à la formation d'éléments constitutifs de la matière vivante. Peut-on raisonnablement supposer que la silice fasse partie de cette matière vivante ? Aucun composé organique du silicium n'est connu dans la cellule, et malgré les travaux de nombreux auteurs, il n'y a aucune certitude du remplacement du phosphore par le silicium. Les espoirs qu'avait fait naître cette hypothèse, en particulier en Allemagne et au Japon qui croyaient pouvoir remplacer les phosphates d'importation par des silicates indigènes, semblent bien ne pas avoir été « matérialisés » (Russel) (56).

S'il n'y a pas remplacement du phosphore par la silice, l'amélioration du rendement des Graminées par addition de silicates permet cependant de penser que la silice joue un rôle certain. Achromeiko, dans un travail récent (1), essaie de le préciser. Pour lui, il s'agit d'abord de savoir si l'action favorisante de

la silice s'exerce à l'extérieur de la plante (en favorisant la solubilisation des phosphates du sol et leur absorption) ou à l'intérieur de la plante (en aidant aux migrations du phosphore dans la plante). Parmi les nombreux essais décrits par l'auteur, une expérience est à retenir : il s'agit de cultures (vraisemblablement d'avoine) sur sable. Sur un lot A, les racines de chaque plante sont séparées en deux groupes, les unes reçoivent du phosphore, les autres de la silice. Sur un autre lot B, toutes les racines reçoivent à la fois du phosphore et de la silice. Un troisième lot sert de témoin, et se compose de plantes poussant sur un milieu renfermant du phosphore, mais pas de silice. Les rendements sont les suivants : par rapport au lot témoin, la récolte totale et en grain augmente de 29 et de 43 % dans le lot A, et de 48 et 64 % dans le lot B. Cette expérience démontre la double influence externe et interne de la silice: l'expérience A que la présence de silice concorde avec une meilleure utilisation du phosphore (s'agit-il d'une accélération de la transformation de phosphore en une forme organique ?). L'expérience B semble indiquer l'effet améliorant de la silice sur l'absorption des phosphates. Mais ce ne sont là que des indications. Et Achromeiko a essayé de pénétrer plus avant la question. En utilisant des sols et des gels de silice dans un milieu phosphaté, il établit que la surface d'absorption des racines semble augmenter (noté aussi par Von Weihe) (66) et puisque cette action se manifeste même lorsque le milieu est séparé des racines par l'épaisseur d'un sac de collodion, l'auteur

admet que la silice colloïdale favorise la solubilisation des phosphates. Et de fait, en mettant en contact un gel de silice et des phosphates de fer ou d'aluminium, l'auteur note cette solubilisation que n'est susceptible de développer ni le gel d'humate d'ammonium ni le gel d'aluminium. Enfin, un sol siliceux, placé dans le sac de collodion, avec PO^4KH^2, facilite, pendant un certain temps, le passage du phosphate.

Blanchard et Chaussin (9), après avoir rappelé la place considérable que tient la silice dans les cendres de l'herbe des prairies et des Graminées cultivées, ne peuvent accepter que tant de silice accumulée ne le soit que comme simple véhicule des ions alcalins, sans utilité pour la plante. Rappelant le rôle des acides organiques et de leurs sels, de l'acide phosphorique et de ses sels, comme substances tampons, les auteurs montrent que les silicates sont eux aussi des substances tampons, et leur absorption par la plante permet de libérer les acides organiques, éventuellement l'acide phosphorique, qui peuvent alors remplir un rôle dans la constitution de réserves. La silice joue ainsi un rôle économique remplaçant les acides organiques et l'acide phosphorique, dans leur rôle de substance tampon.

Ainsi se trouve expliqué un autre aspect du rôle de la silice, s'accordant avec l'expérience et permettant de comprendre cette sorte de remplacement du phosphore par la silice que Hall et Morison avaient déjà noté.

Mais si la plupart des auteurs admettent que la si-

lice n'est pas l'élément inerte qui s'emmagasine simplement dans la plante à la suite des ions alcalins, mais est, au contraire, susceptible d'intervenir directement ou indirectement, d'une manière plus ou moins importante dans la vie cellulaire, reste à trancher une question plus absolue : la plante peut-elle se passer de silice ? La silice est-elle un élément indispensable au développement de la plante ? Nous allons voir que les avis sont bien partagés.

Nous avons déjà dit que Jodin (1883) (34) conclut d'une vieille expérience que le maïs peut être cultivé, pendant plusieurs générations sans qu'il se trouve de silice dans le milieu de culture. Il semblerait que cette expérience qui porte justement sur une Graminée, c'est-à-dire sur une plante particulièrement riche en silice dans les conditions ordinaires, soit décisive.

Chaussin et Blanchard (13) apportent une objection. Le maïs serait une sorte d'exception parmi les Graminées. Le maïs n'absorberait normalement que de faibles quantités de silice : on y trouverait 10 fois moins de silice que dans le blé et la silice soluble serait encore relativement plus faible, 100 ou 200 fois plus faible que dans le blé et dans l'avoine. Cette faculté limitée d'absorption de la silice expliquerait les possibilités de culture sans silice effectuées autrefois par Jodin. Mazé (46) disait que chaque famille, chaque genre de plantes a ses besoins particuliers. On pouvait ajouter, en restreignant encore davantage : chaque espèce a son comportement propre.

Il est des végétaux, normalement très riches en si-

lice, qui peuvent s'en passer complètement. L'expérience de Mlles Bachrach et Lefèvre est, à cet égard, à retenir. Les Diatomées ont une carapace siliceuse que l'industrie des produits de nettoyage n'a pas manqué d'utiliser. Mlle Bachrach est arrivée, en cultivant certaines Diatomées marines ou d'eau douce, à leur faire perdre cette carapace et cela sans diminuer leur vitalité. Le plus curieux est que la culture conduite dans des conditions stériles, soit effectuée dans des milieux renfermant de la silice (6).

Enfin, il est un autre argument à mettre en avant contre la nécessité de la silice pour la plante : c'est que parmi les milieux synthétiques, ceux qui sont destinés aux champignons (milieu de Raulin) peuvent renfermer de la silice, tandis que beaucoup de ceux qui sont utilisés pour les plantes chlorophylliennes en sont dépourvus (milieu de Sachs, de Knop, de Detmer). Lorsqu'on songe que la composition de ces milieux n'a été donnée qu'après de multiples essais, effectués sur un certain nombre de plantes qui ont pu y achever un développement dans des conditions normales, on est bien près de conclure à la non nécessité de la silice. Et cependant, on trouve en contrepartie des arguments qui tendent à prouver le contraire. Tout d'abord, nul ne conteste que la présence de silice améliore le rendement (André). Nous en avons déjà noté des exemples précis. Sommer a montré que si le millet cultivé dans des récipients de verre paraffiné développe sa partie végétative, sa première génération donne des rendements insuffisants en semences, et dans une deuxième génération,

ce rendement diminue des 9/10, et les grains qui se développent sont sans résistance et rapidement envahis par les moisissures. Pour le riz, les expériences de Sommer sont encore plus probantes. La silice est absolument indispensable à son développement.

La question demeure donc en suspens, et si certaines plantes semblent pouvoir se passer de silice, qui est pour elles un élément accessoire, on ne saurait généraliser et on ne peut être assuré que la silice ne soit pas pour d'autres un élément indispensable.

Comme on le voit, le rôle biologique de la silice demeure encore obscur. Un très grand nombre de problèmes restent à résoudre, et leur solution apporterait des éclaircissements au métabolisme et à l'utilisation de la silice par la plante. Dans quelle condition l'ion Si pénètre-t-il dans la plante et sous quelle forme ? Comment et sous quelle forme circule-t-il ? Comment intervient-il dans le développement de la plante ? Autant de questions qui n'ont reçu que des réponses partielles, limitées à tel ou tel cas particulier, et dont la diversité, voire les contradictions, interdit actuellement tout essai de généralisation.

II. — DONNEES ESSENTIELLES SUR LE DEVELOPPEMENT NORMAL DU BLE

Il ne s'agit pas ici de brosser un tableau même sommaire du développement du blé. Nous voulons seulement rappeler quelques données touchant tant à la morphologie et à la physiologie de la plante, qu'à son chimisme et ceci dans le but de mieux situer notre sujet et de permettre au lecteur de rapporter les résultats de notre étude sur la répartition de la silice et d'autres éléments à certains moments du développement de la plante et en fonction des modifications chimiques qui les caractérisent.

Données morphologiques et physiologiques

Nous distinguerons, en nous inspirant de Bœuf (10), divers stades de développement :

1° *La germination.* Sans entrer dans les détails anatomiques du grain de blé, rappelons que le grain qui va germer gonfle au contact de l'humidité. Dans les premières douze heures, il absorbe déjà 35 % de son poids. Vingt-quatre heures après, la coléorhize apparaît bientôt traversée par la première racine qui se ramifie rapidement. La coléoptile, avec les pre-

mières feuilles qu'elle contient, est mise à jour, sur l'axe horizontal les premières feuilles avortent, puis à mesure que cet axe s'allonge, des feuilles se forment, le semis lève.

2° La tige se ramifie et des racines adventives, qui, bientôt, seront les seules racines de la plante, prennent naissance. C'est le *tallage* qui, dans la nature, vient se produire près de la surface du sol, quelle que soit la profondeur à laquelle le grain ait germé. Ce tallage, dont l'importance est considérable, puisque de lui dépend le nombre de tiges par pied, est, on le sait, favorisé par la pratique ancestrale du roulage.

3° La plante se *développe* en tige feuillée d'abord gazonnante, puis dressée. Les entre-nœuds se forment, s'allongent en commençant par les plus inférieurs. La tige s'accroît sans se ramifier. Les racines continuent leur développement.

4° *L'épiage* se fait lorsque le développement de la tige feuillée atteint son maximum. L'épi, depuis longtemps formé et qui, jusque-là, s'était lentement allongé, sort brusquement de sa gaine et un allongement rapide des divers entre-nœuds donne à la plante sa longueur presque définitive.

5° Peu après vient la *floraison*, qui ne dure, au point de vue de sa valeur physiologique, que quelques minutes. Lorsque l'anthèse se produit, l'acte physiologique est déjà terminé. En quelques minutes (2 à 4), les anthères ont été poussées au dehors par la croissance de leurs filets, elles frôlent au passage les stigmates plumeux et elles pendent à l'exté-

rieur et ne tardent pas à se dessécher. Ce mécanisme favorise l'autofécondation et, de fait, la pollinisation croisée est bien exceptionnelle.

6° L'ovaire fécondé, abrité par les glumelles qui se sont refermées sur lui, va évoluer en fruit (*maturation*). Dans sa profondeur, l'embryon et l'albumen se différencient. L'albumen prend de grandes proportions. Bientôt il se charge d'amidon, dont l'abondance désagrège la matière vivante, celle-ci donnera plus tard le gluten.

Le grain atteint son volume définitif, mais son contenu est d'abord *laiteux* et l'embryon n'y est pas encore nettement visible. A ce moment, l'appareil végétatif est encore vert, sauf les feuilles de la base qui commencent à se dessécher. Puis le grain devient jaune doré. Son contenu est alors *pâteux*. Les feuilles prennent, elles aussi, une teinte morte, mais la tige est encore verte aux nœuds. Un peu plus tard, la tige elle-même se dessèche, le grain est *presque dur*, c'est à ce moment que la moisson doit avoir lieu. Enfin, le grain atteint sa pleine maturité, il est *cassant*, il tombe de lui-même. Le chaume est alors transformé en paille fragile.

Données chimiques

Il est difficile d'exprimer, en quelques lignes, une synthèse du chimisme du blé aux divers états de sa croissance. Le grand nombre des constituants, leurs incessantes transformations, l'interdépendance de mé-

tabolismes partiels, nous obligent à limiter cet exposé aux seuls éléments sur lesquels nous aurons à revenir plus loin.

Matière sèche :

L'évolution du poids sec de la plante a été souvent étudié. Nous retiendrons comme particulièrement suggestif le tableau donné par André (4). Il s'agit d'un blé de printemps, semé le 19 mars, et dont un grain pèse 44,7 mgr.

		Poids d'un pied séché à 110° gr.	Rapports centésimaux	Eau dans 100 parties de la matière fraîche
13 mai		0.438		88.7
1er juin	Racines	0.156	9.1	82.2
	Tiges	0.664	38.8	88.2
	Feuilles	0.888	52.1	84.1
		1.708	100.0	
20 juin : avant formation des épis	Racines	0.202	5.2	80.7
	Tiges	2.392	61.9	83.0
	Feuilles	1.266	32.9	72.4
		3.860	100.0	
11 juillet : fin de la floraison	Racines	0.276	4.1	65.9
	Tiges	4.400	66.3	72.2
	Feuilles	1.268	19.1	64.9
	Epis	0.686	10.5	68.1
		6.630	100.0	
25 juillet : grains encore laiteux.	Racines	0.372	3.8	73.0
	Tiges	5.698	58.3	68.8
	Feuilles	1.794	18.3	46.7
	Epis	1.896	19.6	64.0
		9.760	100.0	

Ainsi la plante en voie de maturation, dont les grains sont encore laiteux, pèse, sèche, plus de 200

fois le poids du grain qui lui a donné naissance. Mais les différentes parties de la plante participent à cette augmentation d'une manière très inégale. Tandis que, racines et feuilles tiennent une place relative de moins en moins grande, la partie reproductrice, l'épi ne cesse d'augmenter. C'est qu'en effet, le grain présente un accroissement rapide et considérable. En quelques semaines, le grain quintuple son poids sec.

Enfin la colonne de droite du tableau précédent montre que l'évolution d'une plante annuelle est caractérisée par une dessiccation progressive de tous les organes. Cette dessiccation est encore plus intense dans l'ultime période de la végétation du blé, dans celle où le grain passe de l'état laiteux à l'état sec. C'est ainsi que l'humidité, qui est de 60 à 70 % dans le grain jeune, passe à 12 % dans le grain tout à fait mûr.

Mais le tableau dressé par André est incomplet, puisqu'il s'arrête au stade du grain laiteux. Il est important de savoir que l'accroissement de matière sèche du blé passe par un maximum avant d'atteindre la maturité. Voici des chiffres cités par Bœuf, qui se rapportent à un blé tendre Mahon, semé en Tunisie le 14 décembre, levé le 18 décembre et épié le 24 avril :

Poids sec par pied

	Tige et feuilles	Epis	Total
28 avril	13.44	1.18	14.02
4 mai	26.65	3.98	30.63
11 mai	28.46	5.32	33.78
22 mai	29.23	8.85	38,08
1er juin	15.08	6.60	21.68

Qu'il s'agisse de la partie végétative ou des épis, le maximum est atteint 10 jours avant la maturité, les pertes notées au cours de ces 10 jours sont importantes.

Les constituants de cette matière sèche sont nombreux. Parmi les plus importants, nous retiendrons:

Les glucides, produits de l'assimilation chlorophyllienne, formés dans les feuilles et qui vont cheminer le long de la tige et gagner le grain et s'y condenser.

Les protides, dont le témoin est l'azote.

Les produits minéraux qui se retrouvent dans les cendres.

Glucides :

L'évolution des glucides chez le blé a été soigneusement étudiée par de nombreux auteurs. Colin et ses collaborateurs (de Cugnac, Belval) (14, 8) ont montré avec une grande netteté comment évoluent les glucides chez le blé avant de se retrouver à l'état d'amidon dans le grain en voie de maturation. Les feuilles ne renferment pas d'amidon mais seulement du saccharose et des sucres réducteurs. A la base des tiges s'accumulent des lévulosanes, glucides de réserve, mais de réserve transitoire, puisque, dans le milieu des tiges, ils sont moins abondants, cédant de plus en plus la place à du saccharose et à des réducteurs, si bien qu'au sommet de la tige, ce sont le saccharose et les réducteurs qui tiennent la plus grande place, mais à mesure qu'on s'élève la quantité de glucides totaux tend à diminuer. Dans le grain jeune, dont le contenu est encore laiteux, on retrouve à

nouveau des lévulosanes (glucides solubles qui se transforment en réducteurs sous l'influence des acides dilués) et de l'amidon. Et à mesure que le grain grossit, les lévulosanes disparaissent, tandis que l'amidon augmente considérablement et les glucides totaux deviennent de plus en plus abondants.

Le tableau suivant, tiré du travail de Belval (8), précise tant la transformation sur place des glucides solubles en amidon, que le volume de l'apport glucidique au cours de la maturation. Il rend compte également de la place prépondérante qu'occupent les glucides dans le grain du blé :

1922 :	Sucre total	Lévulose	Amidon
12 juin	8.25	6.07	2.54
26 juin	7.28	5.30	12.35
17 juillet	2.32	1.45	40.47
25 juillet	1.52	0.76	61.84
1923 :			
2 juillet	8.76	6.94	6.32
13 juillet	1.47	0.37	28.00
20 juillet	1.12	0.51	38.30
28 juillet	0.88	0.25	51.50

Tous ces chiffres sont rapportés à 100 gr. d'organes frais. Leur valeur pour le sujet qui nous occupe est donc simplement qualitative. Mais, connaissant d'une part la graduelle déshydratation (le jeune grain renferme 80 à 90 % d'eau, le grain mûr 12 à 15 %), ces chiffres montrent assez la place que prend l'amidon dans l'augmentation de poids du grain au cours de la maturation.

Azote :

Le poids absolu d'azote de la plante augmente continuellement jusqu'au voisinage de la maturité, mais le pourcentage de l'azote rapporté au poids sec va, au contraire, diminuant. Le fait est en corrélation avec l'augmentation beaucoup plus considérable des glucides.

Voici quelques chiffres, d'après André (4) :

	N dans un pied de blé sec	N % de matières sèches
13 mai	0.0203	4.65
1er juin	0.0467	2.73
20 juin	0.0594	1.54
20 juillet	0.08[illegible]8	1.27
25 juillet	0.1453	1.48

I. Pierre (4), dans une expérience déjà ancienne (1864), a étudié la répartition de l'azote dans différentes parties du blé : les chiffres sont en kilog. d'azote par hectare de culture.

	3 juin	22 juin	6 juillet	25 juillet
N total des feuilles	44.90	42.68	28.90	16.29
N des nœuds et entre-nœuds	14.27	25.58	19.62	8.62
N des épis		17.10	33.30	51.30

Dans le grain le pourcentage d'azote est peu variable. Il augmente puis diminue lentement à mesure que prédominent les glucides. Mais si l'on distingue, comme l'ont fait Rousseaux et Sirot (55), l'azote total et l'azote soluble, on voit ce dernier atteindre près de 50 % de l'azote total chez le grain jeune,

puis tomber à 9 % à une vingtaine de jours de la maturité et remonter ensuite et se stabiliser à 14 %.

Des résultats analogues ont été obtenus par Woodmann et Engledow (1914) et par Saunders (1921), d'après Bailey (7).

Cendres :

Le poids absolu des cendres du blé est en continuelle augmentation, mais la proportion des cendres à la matière sèche diminue régulièrement.

André (4) donne pour la plante entière les chiffres suivants :

	Cendres d'un pied de blé	Cendres % de matière sèche
13 mai	0.0796	18.19
1er juin	0.2640	15.45
20 juin	0.5161	13.47
11 juillet	0.6164	9.29
25 juillet	0.9405	9.63

Dans le grain lui-même, cette diminution relative des cendres par rapport à la matière sèche, suit un rythme analogue. Elle passe de 3,06 % (un mois après la formation des épis) à 1,67 dans le grain mûr (d'après Woodmann et Engledow).

Si on sépare les cendres solubles et les cendres insolubles, on s'aperçoit que leur proportion suit un mouvement inverse. Les cendres solubles diminuent régulièrement, tandis que les cendres insolubles augmentent.

Voici les chiffres donnés par Bœuf pour un blé tendre Rochelle, épié le 2 avril et en fleur le 10 avril:

% matière sèche des grains :

	Cendres solubles	Cendres insolubles
23 avril	2.1	0.7
28 avril	1.7	0.4
3 mai	1.2	0.2
9 mai	1.1	1.1
14 mai	0.8	1.0
19 mai	0.7	1.0
23 mai	0.6	1.3

L'élément dominant des cendres solubles est le *potassium*, élément très diffusible. Le potassium est absorbé pendant presque toute la vie de la plante. Mais avant la maturation, au moment où les feuilles jaunissent, il a atteint son maximum. La plante perd une partie de son potassium, une partie importante, qui peut atteindre 38 % et même 50 % (Welfarth, Romer et Wimmer) (1906). Tout se passe comme si le retour du potassium à la terre était en liaison avec la cessation de l'assimilation chlorophyllienne.

Notons enfin, qu'en ce qui concerne la répartition du potassium dans la plante, les nœuds sont les parties de la tige les plus riches en potassium, à l'inverse de ce que l'on a noté pour la silice.

L'élément dominant des cendres insolubles est la *silice*. Nous savons déjà la place importante que tient la silice chez le blé. Tandis que, d'après Molliard (47), un hectare de blé d'hiver enlève par an au sol 13 kg. 7 de chaux, 23 kg. 5 de P^2O^5, 39,2 de K^2O, cette culture emmagasine 105 kg. 8 de silice.

Si quelques auteurs ont étudié la répartition de la silice à un stade donné et dans le grain qui en est particulièrement pauvre (0,06 %), par contre, on

connaît mal la répartition de la silice dans le blé aux différents moments du développement. En particulier, l'absorption de la silice par la jeune plantule et la répartition de la silice au cours de la maturation ne paraissent pas avoir retenu l'attention des chercheurs.

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES PERSONNELLES

TECHNIQUE DES DOSAGES SUIVIS AU COURS DE CE TRAVAIL

Humidité

Aussitôt après le prélèvement, les pieds de blé étaient soumis à un lavage minutieux, notamment les régions radiculaires, suivi d'un séchage entre deux doubles de papier filtre. Puis chaque pied était divisé aux ciseaux et les lots ainsi obtenus étaient, après pesée, portés à l'étuve à 100°-105°, où ils séjournaient 24 heures.

Cendres

La prise d'essai sèche et pesée dans une capsule de platine était chauffée progressivement jusqu'au rouge sombre sans le dépasser pour éviter toute perte de chlorures. On laissait refroidir. Puis on ajoutait quelques gouttes de solution de nitrate d'ammonium à 50 % pour mouiller les parties charbonneuses. On desséchait et calcinait à nouveau jusqu'à cendres blanches, en observant la même précaution que précédemment. On portait à l'étuve puis au dessiccateur et pesait après complet refroidissement.

Dosage de la silice

La plupart des auteurs ont dosé la silice chez les plantes par incinération, fusion alcaline des cendres et reprise par l'eau chlorhydrique et insolubilisation de la silice par addition répétée d'acide chlorhydrique et chauffage.

Cette méthode est longue et la multiplicité des opérations entraîne fatalement des causes d'erreur, en même temps qu'elle ne permet pas d'utiliser les dosages en série qui nous étaient nécessaires.

La méthode à l'acide sulfurique est, elle aussi, sujette à caution.

Quant aux méthodes infiniment plus sensibles données par les auteurs récents et qui consistent à transformer la silice en silico-molybdate et se terminent par un dosage colorimétrique, leur technique est très délicate et par ailleurs si discutée dans un milieu aussi riche en phosphates que le milieu végétal, que nous avons renoncé à leur emploi.

Aussi avons-nous préféré employer, d'après Kahane (35), la destruction nitro-perchlorique de la matière organique et l'insolubilisation facile de la silice au sein de l'acide perchlorique.

Voici la description d'un dosage de silice dans une poudre de blé :

5 ou 10 gr. de substance sont introduits dans un vase cylindrique de 500 cm^3 (le dosage de la silice serait plus difficile dans un récipient plus petit) et traités par le mélange suivant :

NO^3H fumant d. 1,49 ..... 20 cm^3
ClO^4H, d. 1,61 ..... 30 cm^3

L'attaque s'amorce souvent à froid, mais on peut chauffer sans crainte, en surveillant, pour éviter que la mousse ne déborde. Il n'y a aucun inconvénient à mener brutalement cette première phase de l'oxydation, au cours de laquelle s'échappent d'abondantes vapeurs nitreuses. Bientôt l'acide nitrique a épuisé son effet, ce qui se manifeste par la décoloration des vapeurs émises. On poursuit activement l'ébullition de façon à chasser l'excès d'acide nitrique. L'élimination des dernières portions de cet acide est marquée par une formation plus rare et assez régulière des bulles dans le liquide. C'est à ce moment seulement que l'acide perchlorique entre en jeu pour provoquer la destruction rapide des substances ayant subi l'attaque nitrique. L'attaque perchlorique s'amorce durant l'élimination des dernières fractions d'acide nitrique. Elle est manifestée par un regain d'activité très net et progressif dans la formation des bulles. Elle se poursuit spontanément en s'accélérant et en devenant très vive, si bien qu'il est préférable de cesser le chauffage au début de cette phase de l'opération. L'attaque se calme au bout d'une fraction de minute, l'opération est pratiquement achevée, et l'on peut reprendre le chauffage. Les fumées blanches d'acide perchlorique apparaissent rapidement ; on couvre d'un verre de montre pour prévenir une évaporation trop intense et l'on maintient une vive ébullition pendant 30 minutes.

La silice est alors convenablement insolubilisée.

On laisse refroidir, on ajoute 100 à 130 cm^3 d'eau distillée, on porte à l'ébullition, on décante sur filtre sans cendres, on lave à l'eau distillée bouillante acidifiée par l'acide chlorhydrique et ensuite à l'eau distillée, on sèche à 100-110°, on incinère et l'on pèse.

Si p est le poids de silice trouvée, P la prise d'essai, la teneur en silice contenue dans 100 parties de matière sèche sera donc :

$$\frac{p \times 100}{P}$$

Nous avons vérifié que le résidu disparaissait entièrement sous l'action de l'acide fluorhydrique.

Du point de vue de la manipulation, cette méthode est extrêmement avantageuse puisqu'elle consiste dans une simple ébullition au sein de l'acide perchlorique concentré, ébullition d'une durée de 15 à 20 minutes. Elle est donc plus commode que la méthode à l'acide chlorhydrique, qui nécessite plusieurs évaporations. Elle est également plus commode que la méthode à l'acide sulfurique puisqu'elle évite la précipitation des sulfates alcalino-terreux, ainsi que celle du sulfate ferrique insolubilisé par un traitement prolongé à l'acide sulfurique bouillant.

Dosage du potassium

Les méthodes de dosage du potassium sont nombreuses. Nous avons employé pour nos dosages la méthode de Leulier, Velluz et Griffon (43).

1° *Principe de la méthode :*

Le potassium est précipité de ses solutions par le cobaltinitrite de sodium en milieu acétique sous forme de cobaltinitrite double de sodium et de potassium insoluble : $Co(NO^2)^6K^2Na$. Le précipité est isolé par centrifugation, lavé à plusieurs reprises par différents liquides de lavages, puis hydrolysé dans une solution de phosphate de sodium, ce qui a pour effet d'assurer les groupements nitreux à l'état de nitrite de sodium. Ce sel de sodium est oxydé par le permanganate de potasse en milieu sulfurique. On laisse en contact un temps donné et on ajoute une solution d'iodure de potassium, l'iode est mis en liberté en quantité inversement proportionnelle à la quantité d'acide nitreux qui a été oxydé par le permanganate. On termine en titrant l'iode libéré par une solution d'hyposulfite de sodium.

1 cc. de MnO^4K N/100 absorbé correspond à 0,065 mgr. de potassium.

Avant la précipitation par le cobaltinitrite de sodium, la liqueur à doser doit être rigoureusement privée d'ammoniaque. On élimine celui-ci par ébullition en présence de nitrite de soude.

2° *Réactifs nécessaires :*

Cobaltinitrite de sodium. — Il est préparé selon la technique de Billman : dans 150 cc. d'eau distillée chaude, on dissout 150 gr. de nitrite de sodium. On laisse refroidir jusqu'à début de cristallisation ; à ce moment, on se trouve à une température voisine de 50°. On ajoute alors 50 gr. de nitrate de cobalt cris-

tallisé en même temps que 50 cc. d'acide acétique à 50 %. Cette addition d'acide se fait par petites portions, on agite vigoureusement et dans ce mélange, on fait passer pendant une demi-heure un courant d'air. Il se forme un précipité noirâtre de nitrite double de sodium et de cobalt, souillé d'ailleurs par des traces de complexe cobaltico-potassique. On décante le liquide surnageant et le précipité impur est dissous dans 50 cc. d'eau à 70-80°. On filtre et on ajoute cette solution au liquide primitivement décanté. Le volume total est alors de 300 cc. Peu à peu, on ajoute à cette solution 250 cc. d'alcool à 96° en agitant constamment. Il se forme un abondant précipité de cobaltinitrite de sodium qu'on recueille sur un filtre de Buchner et essore à la trompe. On lave quatre fois avec 25 cc. d'alcool à 96° et deux fois avec 25 cc. d'éther. On sèche à l'air et on obtient ainsi 50 à 60 gr. de cobaltinitrite de sodium anhydre. Au moment du besoin, on dissout ce réactif dans l'eau acétique à 1 %, de façon à avoir 0,25 gr. de réactif dans 1 cc. d'eau acétique.

Liquides de lavage :

N° 1

Acide acétique	4 cc.
Alcool à 95°	12 cc.
Ether	12 cc.
Eau distillée	6 cc.

N° 2

Alcool à 95°	volumes égaux.
Ether	

N° 3

Ether pur.

Solution de nitrite de sodium à 20 %.
Solution de phosphate de soude à 5 %.
Solution d'acide sulfurique à 25 % en volume.
Solution d'iodure de potassium à 10 %.
Solution de permanganate de potassium à 3 0/00 ; au moment du dosage, on dilue cette solution au 1/10e.
Solution d'hyposulfite de sodium N/10 ; au moment du dosage, cette solution sert à préparer une solution centinormale.

3° *Mode opératoire :*

Minéralisation. — Etant donné le poids de matière à minéraliser, nous avons employé l'incinération dans une capsule en quartz. On traite ensuite le résidu par 2 cc. d'eau acétique à 10 %. On introduit dans le tube à centrifuger à fond rond « Pyrex » ce liquide et avec toutes les eaux de lavages, jusqu'à un volume final de 4 cc.

Neutralisation. — On neutralise le liquide précédemment introduit dans le tube à centrifuger par du carbonate de lithium, exempt de potassium qu'on ajoute par petites quantités en agitant chaque fois, afin de ne pas avoir de projection ou de débordement. On s'arrête lorsqu'on n'obtient plus d'effervescence et qu'on a, au fond du tube, un léger précipité blanc formé par le carbonate de lithium en excès. On revient alors en milieu neutre par addition goutte à

goutte d'acide acétique jusqu'à obtention d'un liquide parfaitement clair.

Précipitation du potassium. — On prépare extemporanément une solution de cobaltinitrite de sodium dans l'eau acétique à 1 %, de façon telle qu'elle renferme 0,25 gr. de cobaltinitrite pour 1 cc. d'eau acétique. On ajoute à chaque tube refroidi 1 cc. de ce réactif. On agite et on laisse en repos pendant une demi-heure. Il importe de laisser pendant ce temps les tubes bien verticaux, de façon à éviter toute précipitation sur les bords du tube.

Isolement du précipité. — Les tubes sont alors centrifugés à grande vitesse pendant cinq minutes, le précipité de cobaltinitrite de potassium s'agglomère au fond du tube et on décante le liquide surnageant avec les précautions d'usage.

Lavage du précipité. — On ajoute tout d'abord 5 cc. du liquide de lavage N° 1 en le projetant au fond du tube avec une pipette, assez violemment pour remettre le précipité en suspension. On centrifuge 3 minutes et on décante le liquide surnageant. On répète cette opération deux fois avec le liquide de lavage N° 1, deux fois avec le liquide N° 2, et une fois avec le liquide N° 3. Après cette série de lavages, on attend quelques minutes, de façon à avoir une évaporation complète de l'éther qui imbibait le précipité.

On a alors un précipité de cobaltinitrite double de sodium et de potassium pur et sec.

Hydrolyse du précipité. — Dans chaque tube, on ajoute 4 cc. de la solution de phosphate de soude à 5 %. On met le précipité en suspension à l'aide d'un

agitateur en verre qui accompagnera le liquide jusqu'à la fin du dosage et on porte les tubes au bain-marie bouillant pendant cinq minutes. Durant ce temps, on voit le précipité de cobaltinitrite, qui était jaune, disparaître pour faire place à un louche brun-noir, dû à la formation de phosphate de cobalt peu soluble dans ces conditions (excès de phosphate de soude). Après cinq minutes, on retire les tubes et on les laisse refroidir.

Oxydation du nitrite, par le permanganate de potassium. — Dans une série de béchers de 120 cc. — autant de béchers que l'on a de tubes à centrifuger, plus un qui servira de témoin — on met 20 cc. de la solution de permanganate, environ N/100, qui a été préparée extemporanément à partir de la solution à 3 0/00.

On se met en milieu acide par addition de 1 cc. d'acide sulfurique à 25 % en volume. Puis, dans chaque bécher, on introduit le contenu d'un tube à centrifuger et on rince le tube en plusieurs fois avec 5 à 8 cc. d'eau distillée qu'on ajoute au bécher. On agite avec l'agitateur de verre utilisé au moment de l'hydrolyse et on laisse en contact pendant une demi-heure.

Dosage du permanganate en excès. — L'oxydation étant alors complète et les béchers ayant encore une coloration rose, preuve d'un excès de permanganate, on détermine cet excès par iodométrie. Pour cela, dans chaque bécher on ajoute 3 cc. de la solution d'iodure de potassium à 10 %. Comme on est en milieu acide, le permanganate libère une certaine quan-

tité d'iode, qui colore le liquide en jaune. Cet iode est titré par une solution d'hyposulfite de sodium N/100 préparée extemporanément à partir de la solution N/10. On se sert d'une burette graduée au 20e de centimètre cube, et on va jusqu'à la décoloration complète. Le permanganate environ N/100, contenu dans le bécher témoin, est dosé de la même façon.

Expression des résultats. — Soit N le nombre de cc. d'hyposulfite de sodium N/100 trouvé pour le témoin et N', celui de la solution à doser. Comme 1 cc. de permanganate de potassium N/100 correspond à 0 mgr. 065 de potassium, la teneur en potassium de la prise d'essai est donnée par la formule suivante :

$$(N - N')\ 0{,}065 \text{ mgr.}$$

Dosage de l'azote total

On minéralise tout d'abord dans une fiole de Kjeldahl, la prise d'essai avec un gramme d'un mélange de sulfate de potasse et sulfate de cuivre (40 : 2) et 2 cc. d'acide sulfurique concentré pour transformer l'azote organique en azote ammoniacal qu'on récupère par distillation en milieu alcalin et dose par titrimétrie.

On place sur l'ouverture de la fiole un petit entonnoir. Au début, on chauffe doucement puis on règle le feu de façon à avoir une ébullition tranquille mais continue et bien marquée en évitant qu'elle ne s'accompagne d'un dégagement extérieur de vapeurs blanches trop abondantes. On laisse la minéralisation se poursuivre seule jusqu'à décoloration com-

plète, soit deux heures en général. Lorsque la décoloration est obtenue, on laisse l'ébullition se poursuivre quelque temps et on enlève la fiole du feu. Après refroidissement, on verse par l'entonnoir une certaine quantité d'eau distillée, en agitant jusqu'à obtention d'une dissolution complète. Transvaser le liquide et aussi les eaux de lavage dans un ballon jaugé de 50 cc. Laisser refroidir et remplir jusqu'au trait de jauge, bien agiter afin d'obtenir une solution homogène.

L'ammoniaque est ensuite distillée à l'appareil de Parnas et Wagner.

Les réactifs suivants sont nécessaires :

Solutions N/70 de SO^4H^2 et de NaOH ;

Solution de NaOH à 36° B. ;

Solution-mère de rouge de méthyle ;

Solution alcoolique de phtaléine du phénol à 1 %.

Le liquide additionné de soude est soumis à un entraînement à la vapeur d'eau, le gaz ammoniac est recueilli dans un volume connu et en excès d'acide sulfurique N/70. On laisse distiller pendant cinq minutes, on dégage le tube du réfrigérant et on poursuit la distillation encore trois minutes. L'acide sulfurique N/70 est porté à l'ébullition et titré en retour avec une solution de soude N/70 en présence du rouge de méthyle.

Calcul. — Soit P le poids de la prise d'essai; N cc. le volume du liquide de minéralisation à doser, n cc. le volume de l'acide sulfurique N/70 primitif, n' cc.

le volume de soude N/70 utilisé, on peut donc calculer la teneur en azote total contenu dans 100 gr. de matière sèche :

$$\frac{(n - n') \times 0{,}2 \text{ mgr.} \times 50 \times 100}{N \times P}$$

ETUDE DE LA SILICE
AU COURS DE LA MATURATION DU BLE

Recherches de l'été 1937

Notre but était, dans un premier groupe d'expériences, d'étudier, au cours de la maturation du blé, la répartition de la silice dans les différentes parties de la plante, et de tirer de cette étude statique des suggestions sur le mécanisme de l'accumulation de la silice et son rôle biologique. Le blé étudié est un « Hâtif inversable ».

Une première récolte eut lieu le 3 juin 1937. A ce stade (que nous appellerons « Stade I »), les ovaires étaient déjà transformés en fruits, mais ces fruits présentaient un contenu *laiteux* et leur consistance molle permettait de les réduire facilement en bouillie sous la simple pression des doigts. La feuille inférieure des tiges était déjà jaune à l'extrémité.

Une deuxième série d'expériences porta, onze jours plus tard, sur des plantes de même provenance, mais dont les grains avaient considérablement grossi et commençaient à prendre une consistance *pâteuse*, presque ferme (« Stade II », 14 juin).

Enfin, le 25 juin furent recueillis les échantillons

constituant le « Stade III ». Les grains étaient presque mûrs et les feuilles étaient toutes jaunies.

A titre documentaire, nous signalons que le blé fut moissonné vers le 10 juillet.

Pour chacun des stades, nous avons commencé par séparer aux ciseaux, après lavage minutieux et séchage entre deux doubles de papier filtre, les parties suivantes :

Racines	1° Racines.
Tige	2° Entre-nœud de la base. 3° L'entre-nœud situé au-dessous de la feuille de la base. 4° Deux entre-nœuds du milieu de la tige. 5° Deux entre-nœuds sous l'épi.
Feuilles	6° Feuilles de la base (échantillon moyen). 7° Feuilles supérieures (échantillon moyen).
Infructescence	8° Le rachis. 9° Les glumes et les glumelles. 10° Les grains.

A chacun des trois stades, nous avons effectué sur le produit desséché de chacun de ces dix lots, un dosage de silice en utilisant la méthode décrite précédemment. Souvent chaque essai a été effectué à deux reprises et les résultats se sont montrés concordant deux à deux. Ces résultats expriment un *pour-*

centage de silice par rapport à la matière sèche. Il ne faut pas perdre de vue que l'un des caractères de la maturation est une intense migration de substances. Certaines parties de la plante, telles les feuilles, constituent un milieu chimique particulièrement mouvant. Elles se vident de leur contenu, et leur composition chimique se modifie continuellement par de nouveaux apports de matière minérale et par de nouvelles synthèses organiques. D'autres parties, comme les tiges, sont surtout des lieux de passage et des relais au cours des migrations. Quant à la graine, unique bénéficiaire des processus de la maturation, elle constitue une sorte de pôle d'attraction vers lequel s'orientent les produits mobilisés de la plante. On assiste peu à peu chez la graine à cet afflux de substances (elle grossit), à la condensation de ces produits véhiculés et à une déshydratation progressive. Il résulte de ces diverses modifications chimiques, variables avec les organes, mais qui n'en épargnent aucun, que le pourcentage de matière sèche en silice n'a qu'une valeur relative et ne permet de juger les modifications du chiffre de la silice que par rapport à la somme continuellement variable des poids des autres éléments. Aussi serait-il plus intéressant de calculer le poids de silice dans un organe donné. La graine seule, par son individualisation et la constance de son poids dans tous les individus d'un même stade se prête à cette évaluation. Pour les autres lots, le pourcentage de silice par rapport à la matière sèche peut seul être donné. Mais pour mieux situer le fait, nous avons déterminé pa-

rallèlement le pourcentage des cendres totales, et celui de l'azote total. Enfin, pour des raisons que nous expliquerons plus loin, nous avons également effectué dans tous les lots, le dosage du potassium.

Résultats

Nous donnons ici nos résultats globaux que nous disçuterons et interprèterons dans un chapitre suivant.

Notons que 100 grains desséchés pesaient :

Série I . . . . . 0 gr. 1708
Série II . . . . . 2 gr. 3908
Série III . . . . . 4 gr. 5426

A. — Résultats groupés par stades

1. — *Stade I, blé du 3 juin 1937*

	Pour 100 gr. de matière sèche			
	Cendres totales gr.	Silice gr.	Potassium gr.	Azote total gr.
Derniers entre-nœuds de la base	2.82	1.37	0.58	0.40
Premiers entre-nœuds à feuille normale	1.65	0.81	0.52	0.33
Entre-nœuds du milieu	3.80	0.56	1.37	0.83
Derniers entre-nœuds sous l'épi	4.50	1.14	1.12	1.52
Feuilles de la base	9.37	3.85	1.74	1.02
Feuilles supérieures	8.95	3.00	1.35	2.40
Rachis	4.25	—	—	1.04
Glumes et glumelles	5.25	1.86	0.73	2.10
Grains	2.90	0.19		4.02

2. — *Stade II, blé du* 14 *juin* 1937

	Pour 100 gr. de matière fraîche	Pour 100 gr. de matière sèche			
	Humidité	Cendres totales	Silice	Potassium	Azote total
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Racines	64.40	9.23	1.54	0.46	0.69
Derniers entre-nœuds de la base	63.95	1.22	0.44	0.43	0.40
Premiers entre-nœuds à feuille normale	69.20	1.12	0.39	0.53	0.22
Entre-nœuds du milieu	75.71	2.05	0.32	1.11	0.72
Derniers entre-nœuds sous l'épi	76.00	3.14	0.34	1.61	1.25
Feuilles de la base	32.40	8.65	2.28	1.85	1.01
Feuilles supérieures	73.50	7.63	1.97	1.60	2.26
Rachis	70.67	3.59	0.81	1.02	0.67
Glumes et glumelles	40.40	5.00	1.73	0.81	1.26
Grains	67.10	2.30	0.15	0.58	2.46

3. — *Stade III, blé du* 25 *juin* 1937

	Pour 100 gr. de matière fraîche	Pour 100 gr. de matière sèche			
	Humidité	Cendres totales	Silice	Potassium	Azote total
	gr.	gr.	gr.	gr.	gr.
Racines	68.24	7.87	1.63	0.62	0.43
Derniers entre-nœuds de la base	62.06	—	1.42	0.60	0.25
Premiers entre-nœuds à feuille normale	67.92	1.60	0.95	0.41	0.20
Entre-nœuds du milieu	66.06	2.28	0.70	0.72	0.22
Derniers entre-nœuds sous l'épi	64.76	4.83	0.93	1.12	0.45
Feuilles de la base	27.72	9.70	5.01	0.62	0.59
Feuilles supérieures	57.02	9.45	4.21	1.09	0.56
Rachis	67.56	4.15	1.46	0.91	0.63
Glumes et glumelles	30.00	7.52	5.62	0.78	0.79
Grains	50.00	1.61	0.10	0.72	2.69

B. — Résultats groupés par éléments

1. — *Substances minérales (cendres totales) pour 100 grammes de matière sèche, dans le blé du*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Racines	—	9.23	7.87
Derniers entre-nœuds de la base	2.82	1.22	—
Premiers entre-nœuds à feuille normale	1.65	1.12	1.60
Entre-nœuds du milieu	3.80	2.05	2.28
Derniers entre-nœuds sous l'épi	4.50	3.14	4.83
Feuilles de la base	9.37	8.65	9.70
Feuilles supérieures	8.95	7.63	9.45
Rachis	4.25	3.59	4.15
Glumes et glumelles	5.25	5.00	7.52
Grains	2.90	2.30	1.61

2. — *Silice pour 100 grammes de matière sèche, dans le blé du*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Racines	—	1 54	1.62
Derniers entre-nœuds de la base	1.37	0.44	1.42
Premiers entre-nœuds à feuille normale	0.81	0.39	0.95
Entre-nœuds du milieu	0.56	0.32	0.70
Derniers entre-nœuds sous l'epi	1.14	0.34	0.93
Feuilles de la base	3.85	2.28	5.01
Feuilles supérieures	3.00	1.97	4.21
Rachis	—	0.81	1.46
Glumes et glumelles	1.86	1.73	5.62
Grains	0.19	0.15	0.10

3. — *Potassium pour* 100 *grammes de matière sèche, dans le blé du*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Racines	—	0.46	0.62
Derniers entre-nœuds de la base	0.58	0.43	0.60
Premiers entre-nœuds à feuille normale	0.52	0.53	0.41
Entre-nœuds du milieu	1.37	1.11	0.72
Derniers entre-nœuds sous l'épi	1.12	1.61	1.12
Feuilles de la base	1.74	1.85	0.62
Feuilles supérieures	1.35	1.60	1.09
Rachis	—	1.02	0.91
Glumes et glumelles	0.73	0.81	0.78
Grains	—	0.58	0.72

4. — *Azote total pour* 100 *grammes de matière sèche, dans le blé du*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Racines	—	0.69	0.43
Derniers entre-nœuds de la base	0.40	0.40	0.25
Premiers entre-nœuds à feuille normale	0.33	0.22	0.20
Entre-nœuds du milieu	0.83	0.72	0.22
Derniers entre-nœuds sous l'épi	1.52	1.25	0.45
Feuilles de la base	1.02	1.01	0.59
Feuilles supérieures	2.40	2.26	0.56
Rachis	1.04	0.67	0.63
Glumes et glumelles	2.10	1.26	0.79
Grains	4.02	2.46	2.69

C. — Résultats groupés selon la répartition sur la plante

1. — *Racines*

	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 grammes de matière fraîche :		
Poids d'eau (humidité)	64.40	68.24
Pour 100 grammes de matière sèche :		
Substances minérales (cendres)	9.23	7.87
Silice	1.54	1.63
Potassium	0.46	0.62
Azote total	0.69	0.43

2. — *Derniers entre-nœuds de la base*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	63.95	62.06
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres)	2.82	1.22	—
Silice	1.37	0.44	1.42
Potassium	0.58	0.43	0.60
Azote total	0.40	0.40	0.25

3. — *Premiers entre-nœuds à feuilles normales*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	69.20	67.92
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	1.65	1.12	1.60
Silice	0.81	0.39	0.95
Potassium	0.52	0.53	0.41
Azote total	0.33	0.22	0.20

4. — *Entre-nœuds du milieu*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	75.71	64.06
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	3.80	2.05	2.28
Silice	0.56	0.32	0.70
Potassium	1.37	1.11	0.72
Azote total	0.83	0.72	0.22

5. — *Derniers entre-nœuds sous l'épi*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	76.00	64.76
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	4.50	3.14	4.83
Silice	1.14	0.34	0.95
Potassium	1.12	1.61	1.12
Azote total	1.52	1.25	0.45

6. — *Feuilles de la base*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	32.40	27.72
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	9.37	8.65	9.70
Silice	3.85	2.28	5.01
Potassium	1.74	1.85	0.62
Azote total	1.02	1.01	0.59

7. — *Feuilles supérieures*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	73.50	57.02
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	8.95	7.63	9.45
Silice	3.00	1.97	4.21
Potassium	1.35	1.60	1.09
Azote total	2.40	2.26	0.56

8. — *Rachis*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 gr. de matière fraîche :			
Poids d'eau (humidité)	—	70.67	67.56
Pour 100 gr. de matière sèche :			
Substances minérales (cendres) ..	4.25	3.59	4.15
Silice	—	0.81	1.46
Potassium	—	1.02	0.91
Azote total	1.04	0.67	0.63

9. — *Glumes et glumelles*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 *gr. de matière fraîche :*			
Poids d'eau (humidité)	—	40.40	30.00
Pour 100 *gr. de matière sèche :*			
Substances minérales (cendres) ..	5.25	5.00	7.52
Silice	1.86	1.73	5.62
Potassium	0.73	0.81	0.78
Azote total	2.10	1.26	0.79

10. — *Grains*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Pour 100 *gr. de matière fraîche :*			
Poids d'eau (humidité)	—	67.10	50.50
Pour 100 *gr. de matière sèche :*			
Substances minérales (cendres) ..	2.90	2.30	1.61
Silice	0.19	0.15	0.10
Potassium	—	0.58	0.72
Azote total	4.02	2.46	2.69

Eléments contenus dans 100 grains de blé en voie de maturation

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Cendres totales	0.0050	0.0550	0.0731
Silice	0.0003	0.0036	0.0045
Potassium	—	0.0139	0.0327
Azote total	0.0069	0.0588	0.1221

Commentaires

Avant de considérer les variations qu'éprouve le pourcentage de silice dans les divers lots et aux divers stades de maturation, commençons par noter les transformations que subit le milieu durant les mêmes périodes.

Humidité. — Nous ne pouvons comparer que les chiffres des deux derniers stades, ceux du premier n'ayant malheureusement pas été déterminés.

Au Stade II, ce sont les entre-nœuds supérieurs, les feuilles supérieures, le rachis et les grains qui sont les plus humides, tandis que les feuilles de la base déjà jaunes et les bractées florales présentent au contraire une dessiccation marquée.

Au Stade III, on peut faire les mêmes constatations, mais à un degré près, car la plante tout entière, sauf la racine, a perdu de l'humidité. Cependant cette dessiccation est surtout accusée en ce qui concerne l'infructescence, où les glumes et glumelles passent de 40 % d'eau à 30 % et où le grain revient de 67 % à 50 %.

Poids sec du grain. — Il faut noter l'accroissement considérable du poids sec du grain, 100 grains secs pèsent 0,17 gr. au Stade I, 2,39 gr. au Stade II, et 4,54 gr. au Stade III. Cet accroissement considérable du poids sec, en une période qui dépasse à peine trois semaines, montre assez l'importance de la migration dans le grain de substances venant des feuilles et de la tige. Il y aura lieu de tenir compte, en ce qui con-

cerne le grain, de cette transformation totale du milieu lorsqu'on évaluera les variations de la silice.

Cette augmentation considérable du poids du grain est liée à l'emmagasinement des glucides. Mais le grain ne renferme pas que des glucides, on y trouve aussi des matières azotées, surtout localisées dans cette couche à aleurone qui constitue l'assise la plus externe de l'albumen. Et si nous n'avons pas pu suivre, par nous-même, la formation de la réserve amylacée, nous avons, par contre, étudié l'évolution de l'azote total du grain au cours de sa maturation, en même temps que la même évolution dans les autres parties de la plante.

Azote total. — Dans chacun des trois stades, c'est le grain qui fournit de beaucoup le plus riche pourcentage d'azote, tandis que les racines, et les parties inférieures de la plante en sont les plus pauvres.

Au Stade I, les feuilles supérieures, le sommet de la tige, les glumes et les glumelles offrent un pourcentage élevé d'azote.

Au Stade II, toute la partie végétative présente un fléchissement. Il en est de même, et ce fléchissement est même très marqué dans le grain. Mais ce dernier est en pleine croissance et le pourcentage est trompeur.

Au Stade III, l'azote de la partie végétative s'est encore considérablement abaissé. C'est ainsi que les feuilles supérieures semblent avoir perdu les 3/4 de leur azote, le sommet de la tige, les 2/3. Au contraire, si le grain est loin d'avoir retrouvé son pour-

centage d'azote du Stade I, par contre ce pourcentage est supérieur à celui du Stade II, et là encore il s'agit d'un grain qui est mûr.

On assiste donc, d'un Stade à l'autre, à une diminution marquée de l'azote de toutes les parties végétatives. Et cependant, il est vraisemblable que le poids sec absolu de toutes ces parties est en graduelle diminution.

Que devient cet azote ? Nous avons vu que le pourcentage de l'azote de grain diminuait aussi, mais le grain, lui, augmente considérablement de poids. Aussi, si l'on rapporte la teneur en azote non pas à la matière sèche, mais à 100 grains, le mystère de la répartition de l'azote de la plante végétative s'éclaircit.

	Stade I	Stade II	Stade III
N de 100 grains en gr.	0.0069	0.0588	0.1222

Dans le délai qui s'écoule entre le Stade I et le Stade III, la quantité d'azote du grain a passé de 1 à 20. Il y a donc eu migration de matière azotée de la partie végétative dans le grain.

Ces simples résultats, conformes aux idées classiques, précisent une des données de la formation du grain, cette migration massive de l'azote vers le fruit qui mûrit.

Cendres totales. — La répartition centésimale des cendres (par rapport à la matière sèche) appelle quelques réflexions. Les organes les plus riches en

cendres sont les parties foliacées et d'abord les feuilles de la base, puis les feuilles du sommet, et les glumes et les glumelles, tandis que la tige se présente comme la plus pauvre. D'ailleurs, suivant l'endroit, la teneur en cendres y est variable. Dans les trois Stades, elle augmente notablement à mesure qu'on s'élève et se maintient élevée dans cette partie d'infructescence qu'est le rachis.

Si maintenant on compare non plus les divers lots d'un même Stade, mais un même lot dans les trois Stades, on est surpris de trouver un caractère commun à tous les lots : dans tous les cas, sauf dans le grain, les lots du Stade II présentent, par rapport au Stade I, et par rapport au Stade III, des chiffres sensiblement inférieurs. Par contre, dans le grain, les cendres totales sont nettement moins abondantes, à mesure que le grain s'achemine vers la maturation. Mais ici, on ne doit pas oublier que le milieu se transforme et que ces diminutions de la proportion centésimale des cendres totales ne signifient pas que les diverses parties de la plante se déminéralisent. Elles signifient seulement qu'en regard de l'énorme production de matières organiques, l'acquisition de nouvelles matières minérales apparaît comme moins importante.

C'est ce qui ressort des chiffres suivants où les cendres ne sont plus rapportées à 100 gr. de substance sèche, mais à 100 grains.

	Poids sec en gr.	Cendres en gr.	Matières organiques en gr.
Stade I	0.1708	0.0050	0.1660
Stade II	2.3908	0.0550	2.3358
Stade III	4.5426	0.0731	4.4695

Tandis que le poids des cendres de 100 grains croît de 1 à 15, les matières organiques passent de 1 à 27 !

Silice. — Il était nécessaire, croyons-nous, de définir succinctement le milieu chimique en rapide transformation où nous allons maintenant étudier le comportement de la silice.

Considérons d'abord l'un après l'autre chacun des trois Stades :

Au Stade I, la répartition de la silice dans les différents lots de cette récolte montre que, pour 100 gr. de matière sèche, ce sont les grains qui sont les plus pauvres ; puis vient la tige où la silice semble plus abondante dans les extrémités qu'au milieu, les bractées florales et enfin les feuilles et en particulier les feuilles de la base. Si l'on compare le grain et les feuilles, l'analyse montre que les feuilles renferment une proportion de silice près de 20 fois plus forte que le grain.

Au Stade II, les rapports sont sensiblement constants, mais les chiffres absolus sont notablement plus faibles.

Pour le Stade III, les chiffres absolus correspondent à ceux du Stade I ou bien sont en augmentation nette sur eux, mais les rapports des teneurs en silice des divers lots sont à peu près constants. Tandis que le grain est toujours le plus pauvre et de

beaucoup, la tige apparaît enrichie en silice aux deux extrémités surtout et les feuilles le sont encore davantage, de même que les bractées florales.

Si maintenant, nous comparons, pour une même sorte de lot, les trois Stades, nous constatons que dans tous les cas les chiffres du Stade II sont plus faibles que ceux du Stade I, tandis qu'on note un enrichissement général au Stade III. Seul le grain fait exception : le pourcentage s'abaissant régulièrement de I à III.

Deux ordres de faits sont donc à retenir : pour un moment donné, les pourcentages de silice des divers lots ; pour un lot donné, les variations de pourcentage suivant les Stades.

1° Que la racine, lieu d'absorption, soit riche en silice, cela ne nous étonne pas, encore que le fait ne soit pas admis par les auteurs (Molliard) (47). Les feuilles, les bractées de l'appareil fructifère, les parties supérieures de la tige, c'est-à-dire les parties qui sont le plus directement en contact avec l'atmosphère, contiennent dans tous les cas, plus de silice que les autres parties de la plante. Comment l'expliquer ? On peut supposer que la silice, qu'elle soit absorbée à l'état de silicate soluble, ou de silice colloïdale, est entraînée par le courant de la sève vers les parties de la plante soumises à la transpiration. Ainsi, elle parvient aux parties foliacées et au sommet de la tige. Là alors que l'eau est évacuée à l'état de vapeur, les substances minérales peuvent présenter selon leur nature, un devenir différent. Celles qui sont solubles restent dissoutes dans le

suc cellulaire, en attendant soit d'entrer dans la constitution de la matière vivante (N, P), soit de subir de nouvelles migrations (KNa). Celles qui deviennent insolubles comme la chaux qui se précipite à l'état de carbonate, ou la silice dont on peut imaginer l'insolubilisation par précipitation à partir des silicates par les acides et notamment l'acide carbonique ou la floculation de la silice colloïdale demeurée fixée.

Il est au moins un fait certain, c'est que si l'accumulation de la silice devient plus considérable dans les parties découvertes que dans les autres, c'est qu'une transpiration plus active fait un appel plus énergique à l'eau et aux substances minérales qu'elle entraîne avec elle.

Ce qui semble venir à l'appui de cette explication qui correspond d'ailleurs aux données classiques, c'est que les parties les plus siliceuses de la plante sont précisément celles qui, comme les feuilles, les glumes et les glumelles, présentent le plus de prise à l'action de l'air en raison de leur grande surface, ou comme les parties supérieures de la tige, celles qui sont plus à découvert et plus aérées.

Les feuilles du blé qui sont disposées sur deux rangs, engainantes, enveloppent la tige sur une portion d'entre-nœud avant de s'étaler en un limbe long, étroit et rubanné. Nous nous sommes demandé s'il n'existerait pas une différence dans le pourcentage de silice de l'entre-nœud, suivant qu'il s'agirait de la partie nue de l'entre-nœud, ou de la partie recouverte des feuilles et protégée contre l'action directe de l'air. C'est en effet ce que confirme l'expérience :

	Partie nue gr.	Partie enveloppée par la feuille gr.	Partie mixte gr.
Entre-nœuds sous l'épi.	1.20	0.80	0.93
Entre-nœuds du milieu	1.02	0.39	0.70

Et ceci est également en accord avec le fait classique que l'assise la plus externe, l'épiderme, surtout dans les parties qui sont directement en contact avec l'air, est toujours très riche en silice.

2° Un autre point curieux de nos résultats concerne la diminution du pourcentage de silice au Stade II, diminution qui touche tous les lots et qui concorde à peu près avec une diminution marquée des cendres totales. Si nous n'avions fait, là comme pour la plupart des lots, une double détermination de la silice et des cendres totales, nous pourrions croire à une erreur d'expérience. Mais cette hypothèse est à écarter, et nous allons chercher l'explication de cette anomalie.

Ecartons ce qui concerne le grain. Chez lui en effet, le pourcentage de silice continue à diminuer au Stade III, passant successivement de 0,19 à 0,15 et 0,10. Nous savons que cette diminution n'est qu'apparente et qu'en réalité, lorsqu'on rapporte les chiffres au nombre de grains et non plus au pourcentage de matière sèche, c'est une augmentation graduelle que l'on constate :

	Stade I	Stade II	Stade III
SiO^2 pour 100 grains sec en gr.	0.0003	0.0036	0.0045

Restent les parties végétatives de la plante. Deux hypothèses peuvent être avancées. La silice subirait-

elle une migration, ainsi que les autres substances minérales ? ou bien y a-t-il à ce moment une formation considérable de glucides qui sera assez importante pour « diluer » dans tous les organes les matières minérales ? La première hypothèse paraît peu probable et serait en tout cas en contradiction avec ce que l'on sait de la silice qui une fois insolubilisée et déposée, demeure dans les lieux mêmes où elle est fixée. Il n'en est pas de même pour les matières minérales solubles qui peuvent bien subir à ce moment d'intense activité, une migration partielle. La seconde hypothèse s'accorde si bien cependant avec la diminution constatée des matières azotées et des cendres qu'elle retient davantage l'attention.

Ce Stade II pourrait correspondre à un enrichissement des parties végétatives de la plante en glucides, dont la formation serait pour un temps plus importante que l'exportation. Puis, au Stade III, un équilibre entre ces deux phénomènes serait atteint, les glucides ayant réussi à émigrer en masse vers le grain. En somme, il se passerait transitoirement pour les feuilles (et le reste de la plante végétative), ce que nous avons vu se produire progressivement dans le grain.

Si nous nous reportons aux travaux de Belval, déjà cités, nous constatons que les glucides des feuilles, uniquement formés de saccharose et de sucres réducteurs, sont toujours en assez faible proportion. Par exemple, pour les feuilles du sommet, et calculé en pourcentage de substance fraîche, ces glucides passent de 1,90 à 1,32, puis 1,50, 2,39 et 2,95. Sans doute

le contenu glucidique subit-il des variations au cours du développement. Mais le chiffre absolu qui exprime ce contenu est trop faible, même rapporté au poids sec, et les variations sont d'ampleur trop réduite pour venir à l'appui de notre hypothèse. Et bien qu'on puisse supposer que des facteurs météorologiques interviennent sur l'activité assimilatoire des feuilles, il ne nous est pas possible de prouver le bien fondé de cette hypothèse.

Cendres totales et silice. — La silice suit-elle les mêmes variations que l'ensemble des matières minérales ? Le tableau suivant nous fournit la réponse :

Proportion de silice dans 100 *parties de cendres du blé :*

	3 juin gr.	14 juin gr.	25 juin gr.
Racines	—	17.7	19.6
Derniers entre-nœuds de la base	48.5	36.9	—
Premiers entre-nœuds à feuille normale	49.1	34.4	59.4
Entre-nœuds du milieu	14.7	17.6	30.7
Derniers entre-nœuds sous l'épi	25.3	8.6	19.3
Feuilles de la base	42.1	26.4	50.6
Feuilles supérieures	33.5	25.8	44.6
Rachis	—	22.9	35.2
Glumes et Glumelles	35.5	34.6	74.6
Grains	6.6	6.5	6.2

Au Stade I, le rapport de la silice aux cendres totales est très faible dans le grain et très élevé dans le bas de la tige. On dirait qu'à cette période, la silice émigre vers le haut avec une certaine difficulté.

Au Stade II, celui où la minéralisation est diminuée, il semble que la proportion de silice soit particulièrement faible.

Au Stade III, la silice prend dans toute la plante une place beaucoup plus importante. Du point de vue absolu (pourcentage de silice) ou relatif $\left(\frac{\text{Si}}{\text{cendres totales,}}\right)$ ce sont les feuilles, et les glumelles qui offrent les chiffres les plus élevés, sauf dans le grain.

Potassium. — Nous avons indiqué au début de ce travail que parmi les aspects demeurés obscurs du métabolisme de la silice se trouvait celui de la forme sous laquelle ce métalloïde est véhiculé. Comme certains auteurs (André, Molliard) ont supposé que cette forme pouvait être le silicate de potassium, nous avons pensé qu'il serait intéressant de suivre les variations corrélatives de la silice et du potassium.

Si l'on compare les chiffres exprimant la proportion de potassium dans les diverses parties de la plante à un stade donné, on constate d'abord que ces chiffres ne présentent pas entre eux les différences considérables, notées pour la silice et l'azote. Le potassium, toujours sous forme de sels ionisés, est extrêmement diffusible et sa répartition dans la plante présente une régularité relative.

Au Stade I, ce sont les feuilles qui sont les plus riches et surtout celles de la base, mais la tige, en particulier dans son milieu, est également riche. On constate au Stade II, une répartition analogue, les feuilles se sont encore enrichies et la tige aussi, mais ici le maximum se trouve dans les parties les plus élevées. La base de la tige, la racine, le grain et les bractées qui l'entourent sont plus pauvres.

Au Stade III, la même disposition persiste, avec une diminution marquée dans les parties auparavant riches, et une augmentation dans les parties pauvres. Tout se passe comme si on allait assister à une sorte de nivellement du taux de potassium.

Comparons maintenant entre elles les différentes parties aux trois Stades.

En passant du Stade I au Stade II, contrairement à ce que nous avons noté pour l'azote, la silice, les cendres, en ce qui concerne le potassium, la plante végétative ne s'est pas appauvrie dans chacun de ces organes. Si on note en gros *une diminution dans la partie inférieure de la tige,* par contre le potassium augmente dans les feuilles et dans la partie supérieure de la tige. Et si l'on se souvient que le potassium s'accumule beaucoup dans les régions de développement ou dans les régions où se font synthèse et condensation, ces chargements apparaîtront comme très normaux. Voilà qui apporte un autre argument à l'hypothèse que nous exposions ci-dessus quant au décalage général des chiffres au Stade II.

On assiste, en passant du Stade II au Stade III, à une sorte de nivellement. Tout se passe comme si, à mesure que la synthèse chlorophyllienne se fait moins intense, en corrélation avec le jaunissement des feuilles, le potassium quittait la feuille pour aller émigrer soit vers la racine, soit vers le grain. Il y a longtemps déjà, nous l'avons signalé, qu'on a constaté que les céréales perdent, au voisinage de la maturité, une importante partie de leur potassium, qui fait retour à la terre (I. Pierre (53). Warington (cité par

Maquenne et Demoussy)(44), André et Demoussy (5)). C'est bien ce phénomène de migration dû à l'extraordinaire diffusibilité des sels de potassium que nous assistons. Mais une partie du potassium émigre aussi vers le grain, en relation avec les phénomènes de condensation glucidique qui continuent à s'y produire.

Potassium et silice. — Quels sont maintenant les rapports que présentent la silice et le potassium. *A priori*, pour un même lot, observé à chacun des trois Stades, ce rapport ne pouvait être constant puisque la silice constitue une fois fixée, une forme difficilement véhiculable, alors que le potassium est diffusible ; et d'autre part, pour un même Stade, il en sera de même en raison du rôle particulier du potassium.

Voyons ce que nous donnent les chiffres :

Rapport de la silice au potassium dans un poids déterminé de matières

	3 juin	14 juin	25 juin
Racines	—	3.35	2.63
Tige :			
Derniers entre-nœuds de la base	2.36	1.02	2.37
Premiers entre-nœuds à feuille-normale	1.56	0.74	2.32
Entre-nœuds du milieu	0.41	0.29	0.98
Derniers entre-nœuds sous l'épi.	1.02	0.21	0.83
Feuilles :			
Feuilles de la base	2.21	1.23	8.08
Feuilles supérieures	2.22	1.23	3.86
Infructescence :			
Rachis	—	0.79	1.60
Glumes et glumelles	2.55	2.13	7.21
Grains	—	0.26	0.14

Pour un Stade donné, ce sont les racines et les parties foliacées qui présentent le rapport le plus élevé, et immédiatement ensuite la partie basale de la tige. C'est au contraire, chez le grain et dans la partie moyenne de la tige que ce rapport est le plus faible. Mais si cela est vrai pour chacun des trois Stades, il existe cependant de l'un à l'autre des différences marquées dans la valeur absolue des chiffres. C'est ainsi que ce chiffre maximum de ce rapport $\frac{SiO^2}{K}$ n'atteint pas 2,6 au Stade I (glumes), n'est que de 3,35 au Stade II (racines), tandis que dans le Stade III, on atteint presque 8 (glumes) et on le dépasse même (feuille de la base). Ces résultats intéressants traduisent *l'immobilité* de la silice déposée et la *diffusibilité* du potassium.

Pour un lot donné dans tous les cas, le rapport s'abaisse au Stade II correspondant à la fois à la diminution de la silice et dans certains cas à l'augmentation du potassium. Par exemple, la chute est particulièrement sensible dans les entre-nœuds supérieurs de la tige, et dans les feuilles. Au Stade III, le rapport $\frac{SiO^2}{K}$ augmente et même augmente sérieusement ; par exemple, dans les feuilles et les parties foliacées et les tiges, où se fixe la silice et qu'a quittés le potassium. Au contraire, d'un stade à l'autre, on voit diminuer le rapport dans la racine et dans le grain, et cela traduit l'arrivée dans ces régions du potassium en voie de migration.

Tels sont les faits observés. D'une manière générale, les variations de la silice et du potassium, dans un lot donné et d'un stade à l'autre, paraissent inverses. Il n'est guère que dans la partie inférieure de la tige que les courbes traduisant l'évolution de la silice et du potassium présentent un certain parallélisme. Elles s'écartent à mesure que l'on monte, pour s'inverser complètement dans les parties foliacées. Faudrait-il conclure que silice et potassium pénètrent dans la plante de concert, liés l'un à l'autre et ne tardent pas à se séparer ? Le fait est intéressant mais demande une vérification.

Expériences de 1938

Les résultats des expériences de 1937 étaient, nous venons de le voir, d'interprétation délicate sur plus d'un point. Nous avons répété en 1938, en partie tout au moins, les mêmes essais, en nous intéressant plus spécialement à l'accumulation de la silice dans les parties foliacées, aux rapports de la silice et du potassium et, en recherchant si à quelque moment, nous retrouverions cette phase où diminuent au moins en apparence les éléments minéraux.

Nous avons opéré dans les mêmes conditions que l'année précédente, sur la même variété de blé (« hâtif inversable »), cultivé au même endroit. Nous avons prélevé trois séries d'échantillons, l'une Ia, le 14 juin, une deuxième IIa, le 30 juin, la troisième IIIa, le 12 juillet. Nous pensons pouvoir les situer par rapport à ceux de 1937 en indiquant pour chacun d'eux le poids sec de 100 grains.

	I, 3 juin	II, 14 juin	III, 25 juin
1937	0 gr. 171	2 gr. 391	4 gr. 542
	Ia, 14 juin	IIa, 30 juin	IIIa, 12 juillet
1938	1 gr. 383	4 gr. 644	4 gr. 645

On voit que Ia est intermédiaire entre I et II, IIa et IIIa (bien que récoltés à 12 jours d'intervalle), sont de même poids et voisins de III de 1937.

Résultats

Silice pour 100 gr. de matière sèche (1938)

	I a 14 juin gr.	II a 30 juin gr.	III a 12 juillet gr.
Racines	1.52	1.50	1.75
Entre-nœuds du milieu	0.57	0.60	0.75
Feuilles de la base	3.10	3.35	3.08
Feuilles supérieures	1.84	2.40	2.35
Glumes et glumelles	2.95	4.47	6.17
Grains	0.10	0.05	0.043

Potassium pour 100 gr. de matière sèche (1938)

	Ia gr.	IIa gr.	IIIa gr.
Racines	0.411	0.307	0.355
Entre-nœuds du milieu	1.298	0.781	0.970
Feuilles de la base	0.293	0.303	0.161
Feuilles supérieures	1.007	0.368	0.355
Glumes et glumelles	0.572	0.401	0.326
Grains	0.645	0.482	0.602

Commentaires

Si le chimisme de la plante est lié à l'espèce et à la variété, l'évolution des métabolismes des différents éléments est en rapport étroit avec l'activité des feuilles, l'intensité de la transpiration, la sécheresse de la saison et dépend non seulement des conditions existant au moment de la maturation, mais encore au cours du développement immédiatement antérieur de la plante. Aussi devons-nous noter les diffé-

rences météorologiques des deux années en cause, 1937 et 1938. Alors que l'hiver et le premier printemps de 1937 avaient été très humides, la même période a été en 1938 très sèche. Le mois de mai présente pour les deux années, des courbes analogues. Par contre, juin a été beaucoup plus humide en 1938 qu'en 1937. Il faut donc s'attendre, étant donné la dilution des éléments du sol par la pluie, et l'entrave à l'évaporation, à une diminution des éléments minéraux en 1938 (voir graphique).

D'autre part, il ne nous a pas été possible de choisir en 1938 les échantillons aux mêmes stades qu'en 1937. Comme nous l'avons vu, si nous nous en référons aux poids secs de 100 grains, le Stade Ia est intermédiaire entre I et II, et le Stade IIa se trouve, de même que IIIa, au voisinage du Stade III. Aussi ne devons-nous pas être étonné de trouver en 1938 des courbes différentes de celles de 1937. Les Stades IIa et IIIa prolongent en quelque sorte le Stade III de 1937.

Il en résulte que ni en ce qui concerne les chiffres absolus, ni en ce qui concerne leur évolution pour un lot donné, nos résultats de 1938 ne pourront être superposables à ceux de 1937. Ces réserves étant faites, examinons les résultats de 1938.

En ce qui concerne la silice.

Pour un Stade donné, la répartition de la silice dans la plante se présente à peu près dans les mêmes conditions qu'en 1937.

Au Stade Ia, feuilles et bractées fructifères sont particulièrement riches en silice. Il en est de même de la racine. Par contre, le milieu de la tige est pauvre, et le grain est encore plus pauvre. En valeur absolue, le pourcentage de silice est intermédiaire, entre les chiffres trouvés en 1937 pour le Stade I et le Stade II. Cependant il est nettement plus faible dans les grains et nettement plus fort dans les glumes et glumelles.

Au Stade IIa, les parties foliacées, se sont encore enrichies, et les glumes et glumelles viennent largement en tête, tandis que le milieu de la tige demeure pauvre et que les grains présentent un pourcentage diminué de moitié. Si l'on se reporte à la série correspondante de 1937, la série III, les chiffres sont comparables, feuilles inférieures plus riches que les feuilles supérieures, glumelles accumulant de la silice, tandis que le grain s'appauvrit (il est vrai dans de moindres proportions).

Au Stade IIIa, tandis que les glumes et les glumelles ont vu se continuer le dépôt de silice (le pourcentage a plus que doublé dans l'espace d'un mois), les feuilles sont stationnaires avec un léger déficit. La racine, le milieu de la tige, présentent une légère augmentation, tandis que le grain a continué à s'appauvrir. Ce Stade IIIa, ne peut être comparé au Stade III de 1937. Il réalise une évolution plus avancée.

Pour un Stade donné, la répartition de la silice dans la plante se présente en 1938 dans les mêmes

conditions qu'au Stade correspondant de 1937, à la valeur absolue des chiffres près.

Si maintenant, nous étudions l'évolution de la silice, dans un *échantillon donné,* nous constatons :

— pour les racines, un pourcentage en légère augmentation (comme en 1937) ;

— pour la région moyenne de la tige, des chiffres peu élevés, mais augmentant légèrement d'un Stade à l'autre. L'augmentation avait été beaucoup plus marquée de II à III en 1937 ;

— pour les feuilles de la base et du sommet, des chiffres élevés augmentant encore au Stade IIa, et tendant à diminuer au Stade IIIa. En 1937, l'augmentation avait été beaucoup plus marquée entre II et III ;

— pour les glumelles, par contre, la silice fait plus que doubler en un mois. Cependant, au cours de la même période de 1937, son augmentation avait été encore plus sensible ;

— les grains enfin, s'ils sont moins riches en silice qu'en 1937, subissent une perte relative du même ordre en 1938 qu'en 1937.

En résumé, dans les périodes correspondantes, l'évolution de la silice d'un organe donné se fait dans le même sens au cours de ces deux saisons successives. Racine et tige demeurent à un pourcentage stationnaire en légère hausse. Les parties foliacées s'enrichissent, le grain semble s'appauvrir.

Cette évolution analogue, nous autorise à ajouter aux séries correspondantes, d'une part la série I de

1937 et d'autre part la série IIIa de 1938, et à tirer ainsi des conclusions sur l'évolution de la silice depuis le Stade où le grain est encore proche de sa formation, et le Stade où la maturité complète est achevée. Sous réserve de la valeur absolue des chiffres, il nous semble permis de retracer cette répartition et cette évolution comme il suit :

La silice est surtout abondante chez le blé dans les parties foliacées et notablement dans les bractées fructifères et dans les feuilles de la base. La racine en renferme moins, la tige encore moins, le grain en est pauvre.

On assiste au cours de la maturation du blé à un enrichissement en silice de toutes les parties de la plante. Le fait est évident pour les parties foliacées où la silice passe par exemple de moins de 3 gr. (Stade Ia) dans les glumes à plus de 6 gr. (Stade IIIa). Avec cette réserve qu'au voisinage immédiat de la maturation, la silice des feuilles semble marquer un léger fléchissement (Stade IIIa). L'augmentation du taux de silice est moins marquée, mais elle existe cependant dans les tiges et les racines. Quant aux grains, si le pourcentage de silice diminue, nous savons qu'en réalité, les chiffres de pourcentage sont trompeurs, puisque le poids de silice de 100 grains augmente régulièrement.

En ce qui concerne le potassium.

Pour un Stade donné. Le potassium paraît généralement moins abondant en 1938 qu'en 1937.

Au Stade Ia, le milieu de la tige et les feuilles supérieures sont les plus riches en potassium, les feuilles de la base et les racines les plus pauvres. Le grain est moyennement riche.

Comparés à 1937, les différents lots renferment en 1938 moins de potassium, notamment les feuilles de la base. Mais sauf cette exception, les lots du Stade Ia de 1938 correspondent à la valeur absolue près, aux lots I et II de 1937.

Au Stade IIa, c'est la tige qui demeure la plus riche (avec 0 gr. 78) bien qu'elle ait perdu du potassium. Tous les autres lots présentent un taux de potassium compris entre 0,30 à 0,40 % de matière sèche, c'est dire que presque dans tous les lots le potassium a diminué.

En 1937, au Stade III, on notait aussi une diminution dans presque tous les lots, mais le taux de potassium restait élevé et correspondait au double, voire au triple de celui de 1938.

Si l'on se reporte aux courbes météorologiques, on constate que le mois de juin de 1938 a été très pluvieux. Il est permis de penser que l'apport de potassium a été considérablement ralenti et cela explique dans une certaine mesure que tout le Stade IIa, du 30 juin, soit, dans tous les lots, si pauvre en potassium.

Au Stade IIIa, c'est à nouveau la tige qui se présente avec le plus fort pourcentage de potassium, puis le grain, les parties foliacées continuent à se vider, tandis que la racine s'enrichit un peu.

Pour un lot donné, le taux de potassium de la ra-

cine diminue au Stade IIa et augmente au Stade IIIa. Il en est de même pour celui de la tige moyenne et du grain. Au contraire, on constate une baisse plus ou moins brusque dans les parties foliacées. Ce sont les feuilles du sommet qui, à ce point de vue, présentent le plus grand écart.

On avait noté des faits à peu près analogues pour les lots correspondants de 1937.

De même que nous l'avons fait pour la silice, envisageons ici l'évolution du potassium dans la plante depuis le stade du grain laiteux jusqu'au stade de la maturation.

Le potassium est surtout abondant chez le blé dans la tige, et à un degré moindre dans les feuilles et le grain en voie de développement. Mais au cours de la maturation, tandis qu'on le voit diminuer dans les parties foliacées, il demeure stationnaire dans la tige et augmente dans la racine et dans le grain. Et ici cette augmentation est visible même sur le pourcentage de matière sèche. C'est dire qu'étant donné l'augmentation considérable du poids sec du grain entre Ia et IIa, l'apport de potassium de la partie végétative au grain est considérable.

	Stade Ia	IIa	IIIa
K de 100 grains en gr.	0.0089	0.0224	0.0280

Cet enrichissement en potassium est même le trait le plus caractéristique du Stade IIIa où la matière sèche de 100 grains n'a pas augmenté par rapport à IIa.

Relation de la silice et du potassium : En 1938, le rapport $\frac{SiO^2}{K}$ évolue-t-il dans un même sens qu'en 1937 ? Le tableau suivant montre que ce rapport :

1° correspond à un chiffre très faible pour le grain et pour la tige et très fort pour la racine et surtout les parties foliacées ;

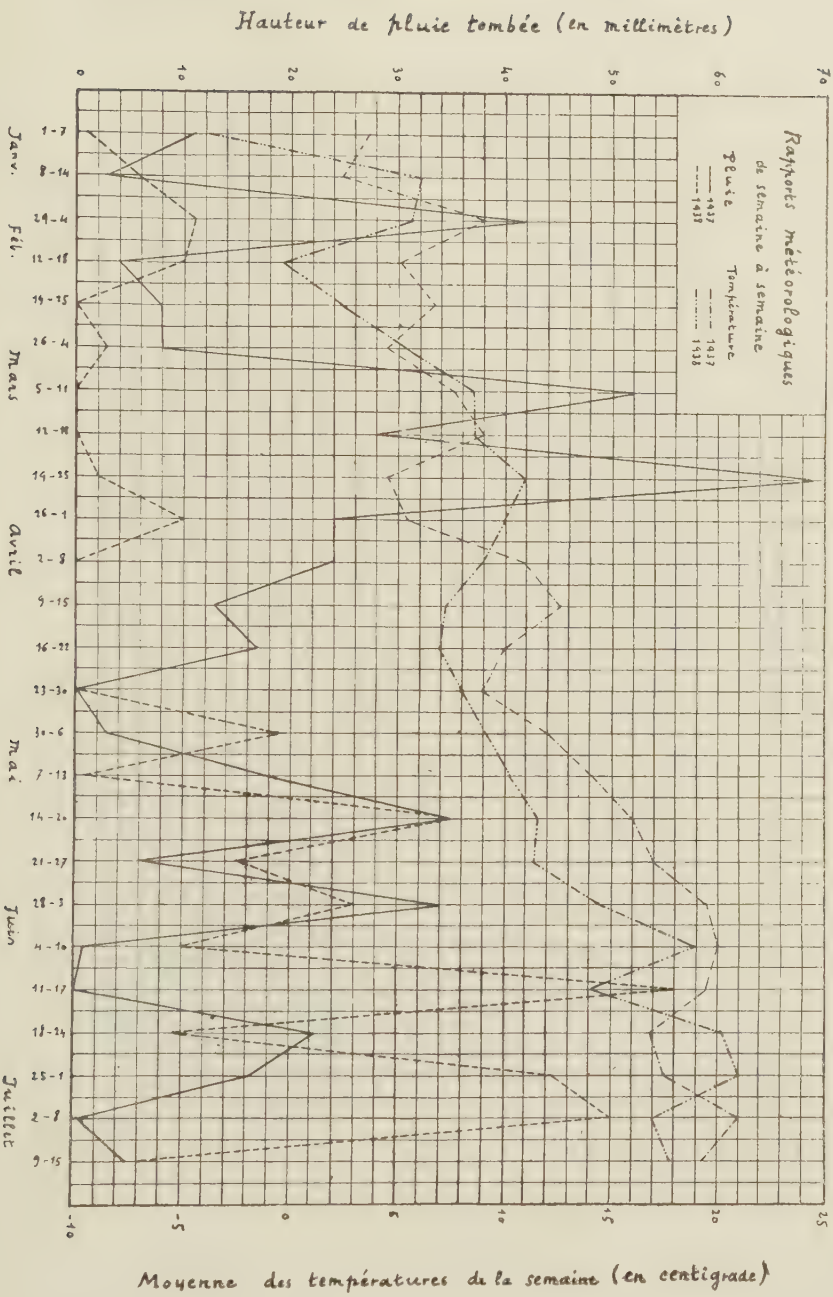
2° augmente régulièrement dans les parties foliacées et diminue régulièrement dans le grain.

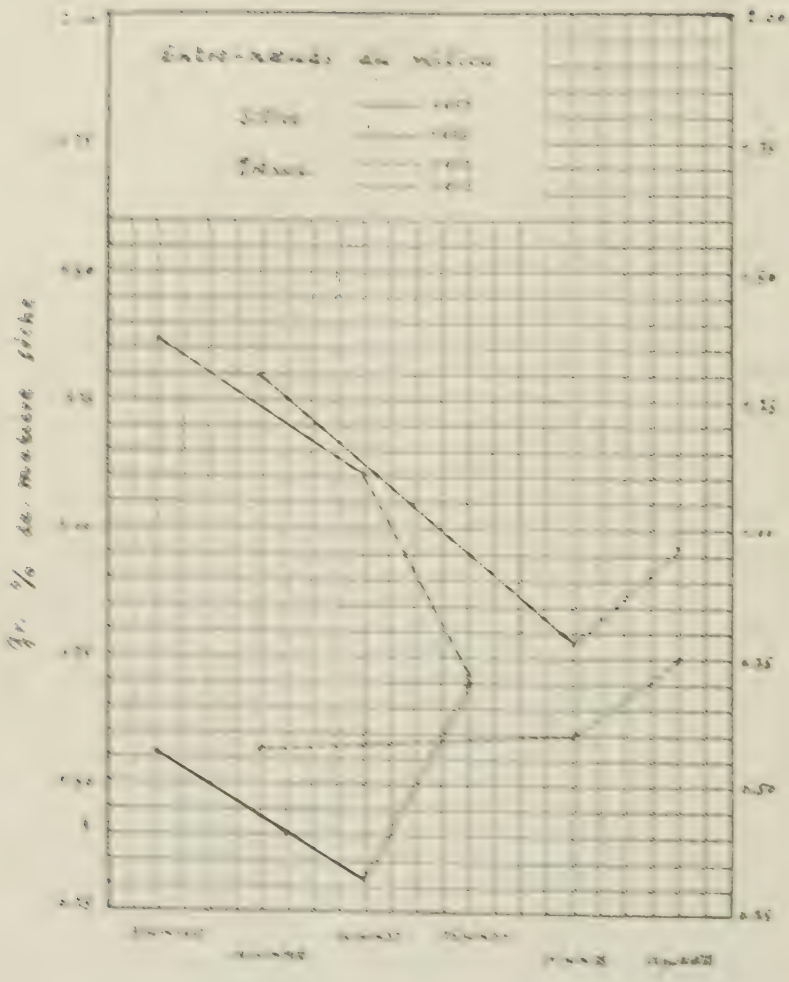
Rapport de la silice au potassium dans le blé de 1938 :

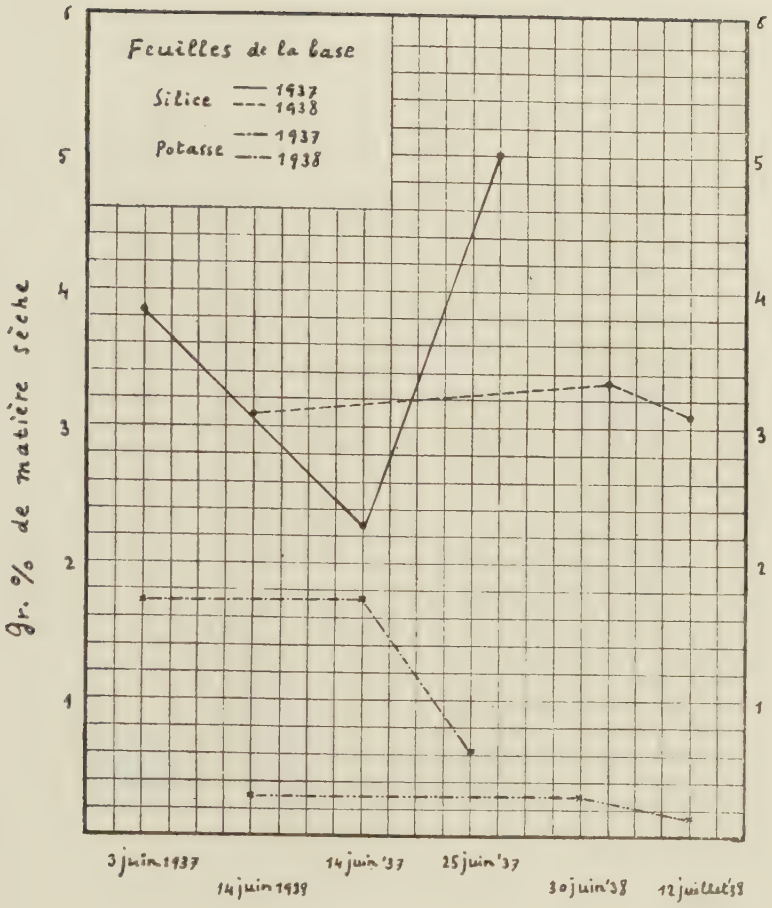
	14 juin	30 juin	12 juillet
Racines	3.70	4.88	4.93
Entre-nœuds du milieu	0.44	0.76	0.77
Feuilles de la base	10.60	11.05	19.13
Feuilles supérieures	1.83	6.52	6.62
Glumes et glumelles	5.14	10.90	19.37
Grains	0.15	0.14	0.07

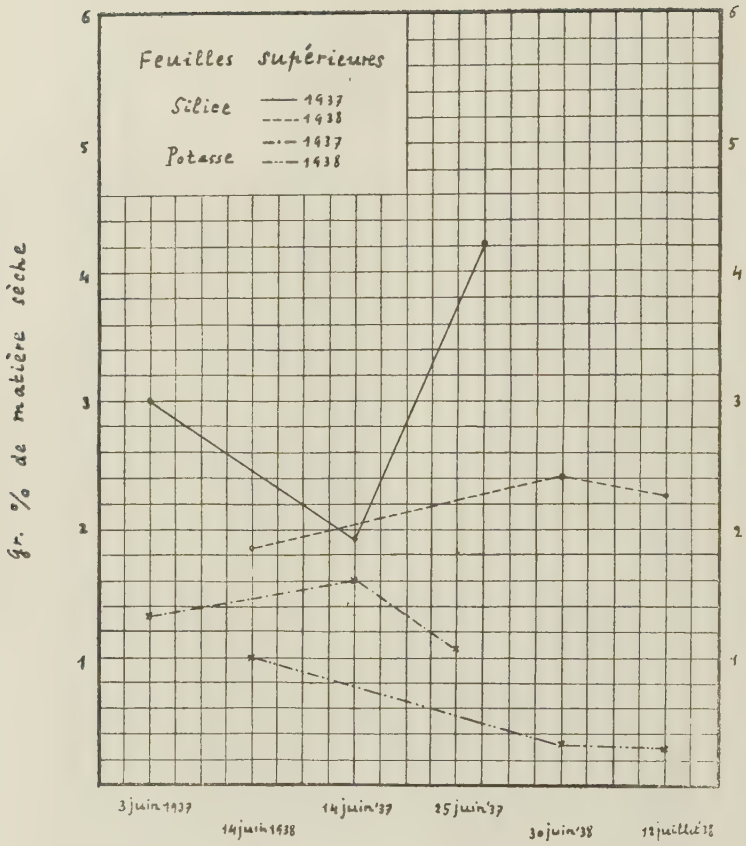
C'est exactement ce que nous avions constaté en 1937, aux valeurs absolues des chiffres près. Et cela ne fait, comme nous l'avons déjà dit, que traduire la fixation de la silice dans les parties foliacées et le transport de potassium de ces parties à travers la tige, vers la racine et vers le grain.

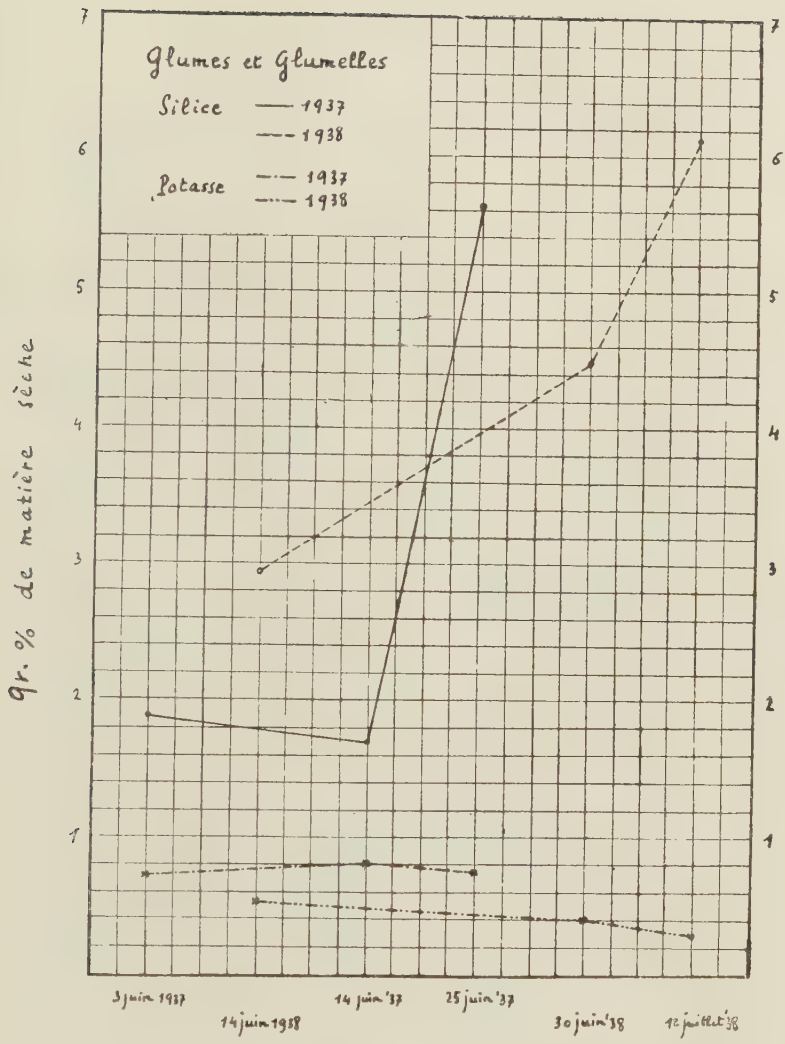
Ces faits ne permettent pas de conclure que la silice est véhiculée à l'état de sel de potassium. Ils n'infirment pas cependant cette hypothèse dont la vérification est rendue difficile à cause de la fixité de la silice qui se retrouve toujours et de la mobilité du potassium qui peut disparaître dès que le silicate de potassium s'est transformé en SiO^2 qui est fixée et en carbonate de potassium ou autres sels ionisés.

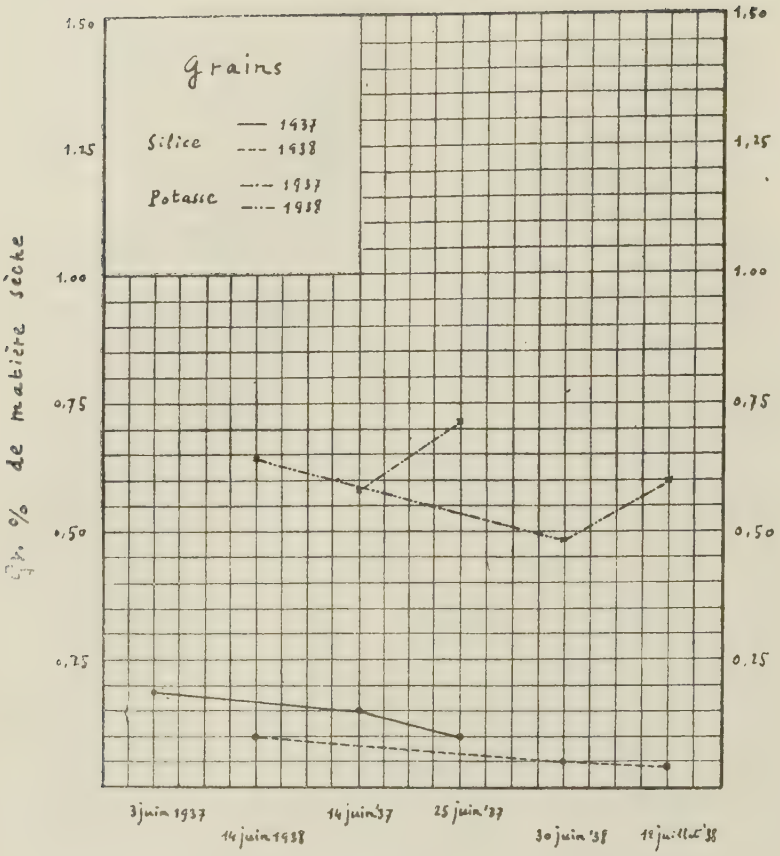

Rapports météorologiques
de semaine à semaine
Pluie
1937
1938
Température
1937
1938
Hauteur de pluie tombée (en millimètres)
Moyenne des températures de la semaine (en centigrade)
Janv.
Fév.
Mars
Avril
Mai
Juin
Juillet
1-7
8-14
29-4
12-18
19-25
26-4
5-11
12-18
19-25
26-1
2-8
9-15
16-22
23-30
30-6
7-13
14-20
21-27
28-3
4-10
11-17
18-24
25-1
2-8
9-15




Feuilles de la base
Silice 1937
1938
Potasse 1937
1938
gr. % de matière sèche
6
5
4
3
2
1
3 juin 1937
14 juin 1937
14 juin 1938
25 juin '37
30 juin '38
12 juillet '38


Feuilles supérieures
Silice
1937
1938
Potasse
1937
1938
gr. % de matière sèche
6
5
4
3
2
1
3 juin 1937
14 juin 1938
14 juin '37
25 juin '37
30 juin '38
12 juillet '38


Glumes et Glumelles
Silice — 1937
--- 1938
Potasse -·- 1937
-··- 1938
gr. % de matière sèche
7
6
5
4
3
2
1
3 juin 1937
14 juin 1938
14 juin '37
25 juin '37
30 juin '38
12 juillet '38


grains
Silice
1937
1938
Potasse
1937
1938
1.50
1.25
1.00
0,75
0,50
0,25
3 juin 1937
14 juin 1938
14 juin '37
25 juin '37
30 juin '38
19 juillet '38

L'ABSORPTION DE LA SILICE AU COURS DE LA GERMINATION DU BLE

Divers auteurs ont indiqué que la silice était absorbée d'une façon progressive dès les premiers stades de la germination. André (2), opérant sur le haricot d'Espagne, cultivé en pleine terre, a étudié l'évolution de la matière minérale au cours du délai qui s'écoule entre le moment où la graine est mise à germer et le moment où elle retrouve son poids initial. Ce délai a été de 30 jours pour une expérience effectuée en mai-juin, de 23 jours pour une autre effectuée en juin-juillet. Durant cette période, l'azote, le phosphore, le potassium (évalués sur 100 grains ou plantules) demeurent longtemps stationnaires. Ces éléments ne commencent à subir une augmentation que dans les jours précédant celui où la plantule retrouve le poids de la graine initiale. La chaux, par contre, augmente progressivement, d'abord lentement, puis assez brutalement pour que son pourcentage initial soit multiplié par 20, à la fin de la période. Quant à la silice, son absorption est évidente dès les premiers jours, passant dans une expérience de 0,01 (pour 100 plantules) à 1,05 au bout du douzième jour. Et cette absorption se continue si bien que, au bout du délai fixé, André trouve 4 gr. 48 de SiO^2 !

Bailey (7) rapporte que, dans les premiers 50 jours de son développement, le blé absorbe 70 % de la silice qu'il renferme à l'état adulte.

Si l'on en croit les auteurs, la silice est donc rapidement absorbée au cours de la germination. Nous avons voulu apporter quelques précisions en ce qui concerne le blé :

1° L'absence de silice ou sa présence à différentes concentrations, correspondent-elles à des modifications morphologiques de la plantule ?

2° Dans quelle mesure l'absorption de la silice est-elle en rapport avec la concentration de la silice dans le milieu ?

3° L'absorption de la silice se fait-elle avec une vitesse très différente selon la forme sous laquelle se trouve la silice du milieu ?

A. — La silice est fournie à l'état colloïdal

Protocole des expériences

Les grains soumis à la germination ont été préalablement plongés 20 minutes dans une solution de sublimé au 1/1000. Les milieux étaient préalablement stérilisés, ainsi que les récipients (grandes boîtes de Pétri spécialement aménagées avec support de verre et coton, papier filtre).

Dans tous les cas, les échantillons prélevés en vue des dosages étaient préalablement lavés avec soin à l'eau et essorés entre deux doubles de papier filtre.

Résultats des expériences

PREMIÈRE SÉRIE.

Milieux : Lot A. Eau distillée stérile.

Lot B. Eau distillée stérile additionnée de 10 % silice colloïdale R.P.

Mise en germination le 11 octobre. Température : 18°-20°.

Les grains sont mis à germer le 11 octobre. Le 15 octobre, 28 % des grains du milieu A et 15 % des grains du milieu B ne sont pas germés.

Le 18 octobre, l'état de développement des plantules dans l'un et l'autre lot est comparable, mais le système radiculaire des plantules du lot B est peu développé.

Le 27 octobre, c'est-à-dire 16 jours après la mise en germination, on remarque que les racines du lot A, 2 fois plus allongées que celles du lot B, sont profondément enfouies dans le coton, leur extraction est difficile. Celles du lot B sont plus courtes et trapues et leur appareil absorbant est réduit.

Le 6 novembre, c'est-à-dire après 26 jours, malgré les précautions prises, les plantules du lot B sont envahies par un *Penicillium*. L'envahissement est tel que la croissance est entravée. Les tiges vertes commencent à jaunir. Au contraire, le lot A est demeuré sain et continue quelque temps son développement.

Caractères morphologiques (longueur en cm)

Milieux	Racine A	Racine B	Tige A	Tige B
18 octobre	2.0 à 3.0	1.5 à 2.0	6.0	6,0
27 octobre	5.0 à 5.5	2.0 à 3.0	16.8	16.9
6 novembre	5.5 à 6.0	2.5 à 3.5	22.5	18.6

Caractères chimiques.

Matière sèche renfermée dans 200 grains ou 200 plantules. 200 grains pesaient secs 8 gr. 46.

	18 octobre A	18 octobre B	27 octobre A	27 octobre B	6 novembre A	6 novembre B
Tige	0.99	1.11	2.20	2.12	3.11	2.32
Racine	0.65	0.60	1.11	0.98	1.13	0.98
Grains	5.64	4.92	3.06	2.19	0.88	0.81
Total	7.28	6.63	6.37	5.29	5.12	4.11
Perte % du poids sec	13.9	21.6	24.4	37.4	39.3	51.4

Silice. — Nous avons effectué le dosage de la silice, dans l'expérience sur l'eau distillée additionnée de silice, soit sur les plantules entières, soit sur les différentes parties, tiges, racines, grains de chaque plantule. Mais ces derniers résultats extrêmement faibles (généralement moins de 1 ctgr.) ne peuvent être pris en considération, et nous ne donnerons ici que les chiffres relatifs aux plantules entières :

Silice (SiO^2) *dans les plantules*

200 *grains renfermaient* 0.0059

	18 oct.	27 oct.	6 nov.
SiO^2 dans 200 plantures	0.014	0.014	0.023

Deuxième série.

Milieux : Lot C. Milieu de Mazé (sans silice) [1].
Lot D_1. Même milieu, additionné après stérilisation de 1 % silice colloïdale.
Lot D_2. Même milieu, additionné après stérilisation de 2 % silice colloïdale.

La mise en germination a lieu le 25 novembre et l'expérience est continuée à T. 18-20° jusqu'au 10 décembre. A cette date, le témoin C s'est développé normalement ; tandis que les 2 lots D_1 et D_2, milieux à silice, sont envahis par les moisissures.

Après les 15 jours de développement, les plantules offrent un développement comparable ; les racines sont un peu plus courtes (4 à 4,5 cm.) dans les lots à silice que dans le lot C. (5 à 6).

Les résultats concernant l'évolution de l'humidité, de la matière sèche et de la silice sont compris dans le tableau ci-après et rapportés à 200 grains, dont le poids sec était de 8 gr. 46 et la teneur en silice de 0,0059.

(1) Ce liquide de culture a la composition suivante (sans addition de silicate de potassium).

	Gr.
Nitrate de sodium	0,5
Phosphate de potassium (composé par parts égales de phosphate mono-bi-potassique)	0,5
Sulfate de magnésium	0,1
Sulfate ferreux	0,05
Chlorure de zinc	0,02
Chlorure de manganèse	0,02
Carbonate de chaux	1,5
Eau distillée	Q.S.P. 1.000

Culture en milieu de Mazé additionné de silice colloïdale (1 % et 2 %).

Etat après 15 jours de culture :

		Lot C milieu de Mazé sans silice	Lot D_1 milieu de Mazé avec silice 1 %	Lot D_2 2 %
Matière sèche de 200 grains ou plantules	Tige	2.94	2.86	3.02
	Racines	0.80	0.77	0.86
	Grains	1.37	1.13	0.97
	Total	5.11	4.76	4.85
Perte % du poids sec des grains		39.5	43.6	42.5
Silice dans 200 plantules		0.0056	0.0123	0.0148

Commentaires

Le comportement de la germination. — Au point de vue morphologique, notons d'abord que de fortes doses de silice (10 %) ralentissent le développement de la racine. La racine demeure courte, épaisse, il ne se produit pas de racines adventives. L'absorption est entravée par l'absence de poils absorbants. Ces modifications à l'allure normale de la germination sont moins nettes, dans le cas où le milieu ne renferme que 1 ou 2 % de silice.

Comme d'ordinaire, la germination s'accompagne d'une hydratation, que nous avons trouvée semblable dans tous les cas et d'une perte de poids sec, mais cette perte semble exagérée en présence de silice.

Enfin, il faut noter la production de moisissures dans les milieux à silice. L'envahissement par le *Penicillium* sp. est vraisemblablement lié à deux facteurs, d'abord l'affaiblissement de la plante dans un milieu déséquilibré, mais surtout la facilité avec la-

quelle les moisissures se cultivent sur les milieux à silice (Winogradski).

L'absorption de la silice. — La plantule totale s'enrichit en silice et de façon marquée puisque, dans l'expérience B, la teneur en silice de 200 plantules passe de 0,0059 (graine) à 0,014 et 0,023 en 26 jours, dans l'expérience D_1 à 0,012 et dans l'expérience D_2 à 0,014 en 15 jours.

Ceci confirme partiellement les données des auteurs sur la rapidité de l'absorption de la silice, lors de la germination : partiellement car, dans nos expériences, le grain de blé ne fait que quadrupler sa silice dans un laps de temps où André constatait que la graine de haricot la centuplait. Enfin, il est intéressant de noter que pour un laps de temps comparable (15 jours) la plante n'absorbe pas plus de silice dans un milieu où elle est très abondante (Exp. B) que dans un milieu beaucoup moins riche (Exp. D_1 et D_2).

B. — La silice est fournie à l'état de silicate de potasse

Nous avons voulu à la fois étudier la vitesse d'absorption de la silice sous forme de silicate, et l'incidence des acides sur cette absorption.

Protocole des expériences

Nous avons mis à germer 3 lots de 200 grains de blé, dans le liquide de Mazé.

Soit seul : Lot E, pH 9 ;

Soit additionné d'acide tartrique (0,2 %) : Lot F, à pH 8 ;

Soit saturé de gaz carbonique : Lot G, à pH 8,5.

Temp. : 18-20°.

Durée : 14-29 mars.

Résultats

Comme on s'y attendait, le lot G, saturé de gaz carbonique, laissait précipiter la silice gélatineuse.

Au bout du délai, le lot F apparaît comme le plus favorisé et le seul qui conserve toute sa vitalité.

Caractères morphologiques (longueur en cm)

Milieux	Racines	Tiges
E	1.5 — 2.0	10 — 11
F	2.5 — 3.0	14 — 15.5
G	1.5 — 2.5	12 — 13.5

Caractères chimiques

	Milieux E	Milieux F	Milieux G
Poids de 200 grains : 8 gr. 46.			
Poids sec de 200 plantules après 15 jours de germination (en gr.)	6.0945	5.8951	6.0145
Perte de poids (%)	28.2	30 4	28.9
Silice de 200 grains : 0 gr. 0059.			
Silice de 200 plantules après germination (en gr.)	0.1444	0.1658	0.0409
Augmentation de silice de 200 plantules (en gr.)	0.1385	0.1599	0.0350

Commentaires

Le développement des jeunes plantules paraît plus aisé pour le lot F, renfermant à la fois silicate de potasse et acide tartrique. Des 3 lots, c'est encore le

lot F qui perd le plus de sa matière sèche au cours de la germination et cela s'explique puisque c'est lui qui paraît posséder la plus grande vitalité. Le développement du lot E est en effet entravé par un pH élevé, et celui de G par la saturation par le gaz carbonique du milieu où vivent les racines. Quand on examine le degré d'absorption de l'ion Si par ces 3 lots, on constate que le degré est bien différent selon qu'il s'agit des uns ou des autres.

Chez G, l'absorption est considérablement ralentie : notons que le ralentissement peut tenir à deux causes :

Le manque de vitalité de la plante ;

La transformation par le gaz carbonique du silicate de potasse soluble en silice colloïdale.

Par contre, F absorbe la silice en quantité considérable puisque, en 15 jours, le poids de silice renfermée dans 200 plantules passe de 0,0059 à 0,1658 !

Et c'est là, une conclusion que nous retiendrons, qui frappe par sa netteté que la silice est plus rapidement et plus intensément aborbée sous forme de silicate soluble que la silice en gelée. Conclusion sans doute banale, mais qu'il fallait démontrer tant on attribue d'importance à la silice colloïdale dans les eaux du sol. Et à la fin de ce travail, il est permis de se demander si la silice si facilement absorbée et véhiculée ne se trouve pas, comme l'indiquait André, surtout sous forme de silicate.

CONCLUSIONS

— I. — Nous donnons une vue d'ensemble sur ce que l'on sait du métabolisme de la silice chez la plante.

— II. — Nous avons étudié deux années de suite, sur la même variété de blé, cultivée sur le même terrain, les variations de la silice *au cours de la maturation* dans les différentes parties de la plante. Corrélativement et pour mieux situer ces variations, nous avons déterminé dans les mêmes conditions, une année la matière sèche, les cendres totales, l'azote et le potassium, et l'autre année simplement le potassium.

a) Pour chacun des lots, la maturation coïncide avec une *dessiccation. Le poids sec du grain* subit un accroissement considérable, lié à l'emmagasinement des glucides. Le maximum est atteint dans la période précédant immédiatement le passage au « grain dur », à partir de laquelle le poids sec devient stationnaire ou diminue légèrement.

b) Le pourcentage de *l'azote* de tous les lots subit, au cours de la maturation, une diminution plus ou moins importante, surtout manifeste dans le dernier stade. Mais il faut bien distinguer :

— la partie végétative de la plante où cette diminution du pourcentage de l'azote coïncide avec une diminution de la substance sèche admise par tous les auteurs ;

— le grain dont la matière sèche augmente considérablement.

Il s'ensuit que, pour la partie végétative, la perte d'azote est réelle, tandis que pour le grain la diminution apparente demande une interprétation. En rapportant les chiffres d'azote non plus à un certain poids de grain sec, mais à un certain nombre de grains, on s'aperçoit que le grain s'enrichit considérablement en azote. Et en fait on assiste au cours de la maturation à cette migration de l'azote de toute la plante vers le grain, décrite par les auteurs.

c) Chez le blé qui mûrit, les parties les plus riches en *cendres* sont les feuilles et plus généralement les parties foliacées. La tige est dans l'ensemble pauvre en matières minérales, surtout dans les régions inférieures. Au cours de la période étudiée, si le pourcentage des cendres rapporté à la matière sèche subit des fluctuations, il se retrouve cependant à peu près identique à la fin et au début, exception faite du grain qui présente une diminution accusée. Mais en réalité les chiffres rapportés à un certain nombre de grains indiquent que le grain qui mûrit augmente son poids de cendres.

d) Les chiffres concernant la répartition de la *silice* rapportée au poids sec dans les différents lots étudiés n'offrent pas une parfaite identité en valeur absolue si on compare les deux années 1937 et 1938.

Ces chiffres sont généralement plus élevés en 1937 à début d'été sec, à forte évaporation, qu'en 1938, où juin a été très pluvieux. Mais si l'on compare les résultats obtenus d'un lot à l'autre, les rapports sont très voisins et l'on peut schématiser ainsi cette répartition :

1° Les régions les plus riches en silice sont les parties foliacées, feuilles, glumes et glumelles et la racine. La graine est la plus pauvre et la tige voit son pourcentage augmenter du milieu aux deux extrémités.

2° L'évolution du pourcentage de silice dans les différents lots de la partie végétative correspond à une augmentation plus ou moins marquée. Cette augmentation est faible pour la tige, par contre, elle est importante pour les feuilles, mais surtout pour les glumes et glumelles. Par contre, le grain semble s'appauvrir, mais en réalité, le poids absolu de silice d'un nombre déterminé de grains augmente régulièrement.

3° Nous donnons, par une expérience précise, un argument en faveur du rôle de la transpiration dans l'accumulation de la silice dans les parties en contact direct avec l'air.

e) La répartition *du potassium* chez le blé présente une régularité plus grande que celles de la silice, des cendres ou de l'azote. Si les chiffres concernant le milieu de la tige par exemple sont les plus élevés, du moins ne dépassent-ils pas le double

ou le triple de ceux concernant les régions les plus pauvres : racines (1937) ou feuilles de la base (1937, 1938). Cela tient vraisemblablement à la grande diffusibilité du potassium.

Tandis que les chiffres de pourcentage de potassium sont dans l'ensemble beaucoup plus faibles en 1938 qu'en 1937 (ce qu'on peut pour une part expliquer par des conditions météorologiques différentes), par contre, on note régulièrement au cours de la maturation, dans les deux séries d'essais, une migration du potassium des parties foliacées soit vers la racine, soit surtout vers le grain, qui arrive à augmenter même son pourcentage de potassium rapporté à la matière sèche.

f) Le rapport $\frac{SiO^2}{K}$ distingue très nettement le grain de la partie végétative, à la fois par son ordre de grandeur et son évolution. Au cours de la maturation, ce rapport plus ou moins élevé (selon les lots et selon l'année) tend encore à s'accroître dans la partie végétative, tandis que dans le grain, où il est très faible, la maturation le voit diminuer encore.

— III. — Nous avons étudié *l'absorption* de la silice au cours de la germination :

a) Dans un milieu où la silice est fournie sous *forme colloïdale.*

La germination est entravée si le milieu est très riche en silice, et les jeunes plantules sont rapidement envahies par des moisissures.

A une concentration raisonnable, la silice est absorbée moins rapidement que ne l'indiquent les auteurs.

b) Si la silice est fournie à l'état de *silicate de potasse* la jeune plantule absorbe des quantités notables de silice, surtout dans un milieu pas trop alcalin.

Vu :
LE DOYEN :
JEAN LEPINE.

Vu :
LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE :
A. LEULIER.

Vu et permis d'imprimer :
Lyon, le 25 Mai 1939
LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ,
A. LIRONDELLE.

BIBLIOGRAPHIE

(1) ACHROMEIKO (A.-I.). — Einfluss der Kieselsäure auf die Ausnutzung der P^2O^5 verschiedenen Ursprungs durch die Pflanze. *Zeit. Pflanz. Düng. U. Bodenk. Abt. A. Wiss.*, 1934, Teil 34 (3/6), p. 340-359, d'après *Biol. Abst.*, 1936, vol. X, n° 5, p. 1121.

(2) ANDRÉ (G.). — Sur l'évolution de la matière minérale pendant la germination. *C. R. Acad. Sc.*, déc. 1899, p. 1262.

(3) — Sur la distribution des bases minérales chez l'orge au cours de l'évolution de ce végétal. *C. R. Acad. Sc.*, 1912, p. 1817.

(4) — Chimie agricole (Chimie végétale), 2 vols. Baillière éd., Paris, 1924.

(5) ANDRÉ (G.) et DEMOUSSY (E.). — Sur la répartition du potassium et du sodium chez les végétaux. *C. R. Acad. Soc.*, 1927, t. CLXXXIV, p. 1501.

(6) BACHRACH (E.) et LEFÈVRE (M.). — Contribution à l'étude du rôle de la silice chez les êtres vivants. Observations sur la biologie des Diatomées. *Journ. de Physiol. et Pathol. Gén.*, 1929, t. 27, n° 2.

(7) BAILEY (C. H.). — Chemistry of Wheat Flour. *Americ. Chem. Soc. Monogr. series.* Chemical Catalog. Co., New-York, 1925.

(8) BELVAL (H.). — La genèse de l'amidon dans les céréales. *Thèse Doct. Sc. Paris*, 1924.

(9) BLANCHARD (E.) et CHAUSSIN (J.). — Le blé, plante à silice. *C. R. Acad. Sc.*, 1933, t. 197, p. 188.

(10) BŒUF (F.). — Contribution à l'étude du blé dans le milieu Nord-Africain (Tunisie). *Thèse Doct. Sciences*, Lyon, 1932.

(11) BREZEALE (J. F.). — Nutrition of Plants Considered as an Electrical Phenomenon. *Journ. of Agric. Res.*, 1923, t. XXIV, p. 45-51.

(12) Briggs (G. E.). — Experimental Researches on Vegetable Assimilation and Respiration. XVI. Characteristic Resulting from Deficiency of Nutrient Salts. *Proc. Roy. Soc. Bot.*, 1922-23, t. LCIV, p. 20-25.

(13) Chaussin (J.) et Blanchard (E.). — Régulation physico-chimique dans le milieu intérieur de quelques plantes agricoles. *C. R. Acad. Sc.*, 1930, t. 190, p. 1139.

(14) Colin (H.) et De Cugnac (A.). — Les hydrates de carbone des Graminées. *Bull. de la Soc. Bot. de France*, 1926, t. 73, p. 947.

(15) Colin (H.) et Billon (P.). — Potasse et betterave. *Rev. Gén. de Bot.*, 1932, vol. 44, p. 5.

(16) Combes (R.). — La vie de la cellule végétale, 3 vols., Armand Colin, Paris, 1929-33-37.

(17) Curtis (O. F.). — Studies on Solute Translocation in Plants. *Am. Journ. of Bot.*, 1929, t. XVI, p. 154-68.

(18) De Cugnac (A.). — Recherches sur les glucides des Graminées. *Ann. de Sc. Nat. Bot.*, 1931, t. XIII, p. 1-129.

(19) Delacroix (G.). — Maladies des plantes cultivées. Maladies non parasitaires, Baillière, Paris, 1908.

(20) Garola (C. V.). — Les céréales, Firmin Didot, Paris, 1894.

(21) Gassner (G.) et Goeze (G.). — Nouvelle recherche sur la dependance de la valeur d'assimilation de jeunes feuilles de céréales vis à vis de l'alimentation potassique. *Planta*, 1933, t. XX, p. 391-406.

(22) Gericke (W. F.). — Salt Requirements of Wheat at Different growth Phases. *Bot Gaz.*, 1925, t. LXXX, p. 410-25.

(23) Germar (B.). — Uber einige Wirkungen der Kiesel-säure in getreidepflanzen, insbesondere auf deren Resistenz gegenüber Mehltau. *Zeit. Pflanz, Düng, U. Bodenk. Abt. A. Wiss.*, 1934, t. 35 (1/2), p. 102-115, d'après *Biol. Abst.* 1936, vol. 10, n° 9, p. 2153.

(24) Gile (P. L.), Smith (J. G.). — Colloïdal Silica and the Efficiency of Phosphates. *Journ. Agric. Res.*, 1925, t. 31, p. 247-260.

(25) Gregory (F. G.) et Richards (F. J.). — Physiological Studies in Plant Nutrition. *Ann. Bot.*, 1929, t. XLIII, p. 11962.

(26) GRIGNARD (V.). — Traité de Chimie Organique. T. VIII, Masson Edit., Paris, 1935.

(27) HARVEY (R. B.). — Plant Physiological Chemistry. *The Cent. Biol. Ser.*, The Century Co, New-York, 1929.

(28) HERRERA (M. L.). — Sur la présence de la silice dans les coupes histologiques incinérées. *C. R. Acad. Sc.*, 1925, t. 180, p. 538.

(29) HILGARD (E. W.). — Soils, Their formation, Properties, Composition and Relations to Climate and Plant Growth in the Humid and Acrid Regions. The Mac-Millan Co., New-York, 1930.

(30) HOPKINS (J. W.). — Influence of Weather Conditions on the Nitrogen Content of Wheat. *Canadian Jour. Res. Sec. C. Bot. Sci.*, 1935, t. 13 (3), p. 127-33, d'après *Biol. Abst.*, 1937, vol. 11, n° 1, p. 167

(31) IKEDA (M.). — On the Influence of the Various Nitrogenous Manures upon the Content of Silica in Rice Plant (in Japan). *Trans. Tottori Soc. Agric.* (*Tottori Nagaku-Kwaiho*), 1933, 4 (3), p. 265-270, d'après *Biol. Abst.*, 1936, vol. 10, n° 9, p. 2294.

(32) JACQUIER-LAFORGE (M.). — Recherches sur les amidons solubles. *Th. Doct. Université* (*Pharmacie*), Lyon, 1938.

(33) JAMES (W. O.). — Studies of The Physiological Importance of the Mineral Elements in Plants (Potato), II. Potassium. *Ann. of Bot.*, 1931, vol. XLV, p. 425-442.

(34) JODIN (V.). — Du rôle de la silice dans la végétation du maïs. *C. R. Acad. Sc.*, 1883, vol. 97, p. 344.

(35) KAHANE (E.). — L'action de l'acide perchlorique sur les matières organiques et ses applications à la chimie analytique. 2 vol., Hermann et Cie, Paris, 1934.

(36) KAHANE (E.) et ANTOINE (G.). — Sur la nature de la silice chez les êtres vivants. Silice de constitution et silice d'interposition. *Bull. Soc. Ch. Biol.*, 1936, t. 18, n° 12.

(37) KING (E. J.) et DAVIDSON (V.). — The Biochemistry of Silicic Acid. IV. Relations of Silica to the Growth of Phytoplankton. *Biochem. Journ.*, 1933, vol. 27 (4), p. 1015-1021.

(38) LAGATU (H.) et MAUME (L.). — La feuille peut-elle accepter une surcharge d'aliment minéral sans profit pour le développement du végétal *C. R. Acad. Sc.*, 1932, t. 194, p. 933-35.

(39) LAWES (J. B.) et GILBERT (J. H.). — On the Composition of the Ash of Wheat-grain and Wheat-Straw, Grown at Rothamsted, in Different Seasons and by Different Manures. *Journ. of Chem. Soc.*, 1884, vol. 45, p. 305-407.

(40) LEGENDRE (R.). — Les céréales, biologie et applications. Armand Colin, Paris, 1935.

(41) LEMANLZYK (K.). — Sur l'absorption des sels de potassium par le système radiculaire de la plante. *Bull. Int. Acad. Polon. Sc. et Lett., Cl. Sc. Math.-nat. s. B.*, 1926, p. 1109, d'après *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 1929, t. 76, p. 675.

(42) LEMATTE (L.), BOINOT (G.), KAHANE (E.) et KAHANE (M.). — Emploi du mélange nitro-perchlorique pour le dosage de la silice dans les substances végétales. *C. R. Acad. Sc.*, 1931, t. 192, p. 1459.

(43) LEULIER (A.), VELLUZ (L.) et GRIFFON (H.). — Sur le microdosage du potassium sous forme de cobaltinitrite. *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 1928, t. 10, p. 891.

(44) MAQUENNE (L.) et DEMOUSSY (E.). — Sur la mobilité de la potasse dans les tissus végétaux. *C. R. Acad. Sc.*, 1914, t. 158.

(45) MASON (T. G.) et MASKELL (E. J.). — Transport in the Cotton Plant. *Ann. of Bot.*, 1931, vol. 45, p. 125-173.

(46) MAZÉ (P.). — Recherche d'une solution purement minérale capable d'assurer l'évolution du maïs cultivé à l'abri des microbes. *Ann. Inst. Pasteur*, 1919, vol. 33, p. 139.

(47) MOLLIARD (M.). — Nutrition de la Plante, Echange d'Eau et de Substances Minérales. Gaston Doin et Cie, éd., Paris, 1927.

(48) MUSENSCHER (W. C.). — The Effect of Transpiration on the Absorption of Salts by Plants. *Am. Journ. Bot.* 1932, vol. IX, p. 311-29.

(49) NICOLAS (G.). — Revue des travaux de Physiologie végétale parus de 1910 à 1919. *Revue Générale de Bot.*, 1924-1925, t. 36 et 37.

(50) Parri (W.) et Scotti (G.). — Le microdosage de la silice dans les liquides organiques et dans les tissus. *Journ. Pharm. et Chimie,* 1933, t. 18, sér. 18, p. 513.

(51) Pascal (P.). — Traité de Chimie Minérale. Tome V. Masson et Cie, Paris, 1932.

(52) Pierre (I.). — Recherche expérimentale sur le développement du blé. *C. R. Acad. Sc.,* 1863, t. 57.

(53) — Recherche analytique sur les variations qu'éprouve dans le blé, le rapport de la potasse à la soude, à divers âges de la plante et dans ses différentes parties. *C. R. Acad. Sc.,* 1865, t. 61.

(54) — La silice et la verse du blé. *C. R. Acad. Sc.,* 1866, vol. 63, p. 374.

(55) Rousseaux et Sirot. — Les matières azotées et l'acide phosphorique dans la maturation et la germination du blé. *C. R. Acad. Sc.,* 1920, t. 171, p. 578.

(56) Russel (E. J.). — Soil Conditions and Plant Growth. Longmans Green et Cie, London, 1932.

(57) Schmitt (L.). — Uber den Einflus langjähriger Kaligaben auf den Ertrag und die Reaktion Stark Austauschsaurer Sandböden- Ernähr. Pflanze, 1931, 27 (9), p. 193-202, d'après *Biol. Abst.* 1933, vol. 7, n° 1, p. 155.

(58) Schœn *in* Grignard. — Constituants inorganiques de l'amidon. *Traité de chimie organique,* t. VIII, 2, p. 655.

(59) Schrumpf-Pierron (P.). — Effet du facteur « variété » sur l'équilibre minéral des blés. *C. R. Soc. de Biol,.* 1932, t. CXI, p. 846.

(60) Sommer (A. L,). — Studies Concerning the Essential Nature of Aluminium and Silicon for Plant Growth. *U. of California. Pub. in Agric. Sc.,* vol. 5, n° 2, pp. 57-81.

(61) Sprecher (H.). — The Rôle of Silicon in the Nutrition of Plants. *Bull. Soc. Genève,* 1911, vol. 2, sér. 3, n° 4, pp. 152-192.

(62) Sreenivasan (A.). — Rôle of Silicon in the Plant. *Nature,* 1936, t. 138, p. 889.

(63) Teller (G. L.). — Change in Nitrogen Compounds in the Wheat Grain at Different Stages of Development. *Plant Physiol.,* 1935, 10 (3), pp. 499-509.

(64) Thomas (P.). — Manuel de Biochimie. Masson Ed., Paris, 1936.

(65) Uber (Fred M.) et Goodspeed (T. H.). — Microincineration Studies. I. Localization of Inorganic Elements in Plant Cell Walls. *Proc. of the Nation. Acad. of Sc. U. S. A.*, 1935, vol. 21, p. 428-433.

(66) Von Weihe (A.). — Ein Beitrag zur Kieselsäure-düngung. *Dissertation Universität, Kiet.*, 1931, d'après *Biol. Abst.* 1935, vol. 9, n° 1, p. 44.

(67) Warne (L. G. G.). — The Distribution of Potassium in Normal and Scorched Foliage. *Ann. of Bot.*, 1934, vol. 48, p. 57-67.

TABLE DES MATIERES

AVANT-PROPOS 11

INTRODUCTION 13

Première partie. — Généralités 17

I. — Généralités sur le métabolisme de la silice 19

A. — La silice dans le sol 22

B. — Les plantes à silice 23

II. — Données essentielles sur le développement normal du blé 43

Données morphologiques et physiologiques 43

Données chimiques 45

Deuxième partie. — Recherches personnelles 55

Techniques utilisées 57

Recherches sur la silice au cours de la maturation du blé 69

Essais de 1937 69

Essais de 1938 95

Recherches sur l'absorption de la silice au cours de la germination du blé 111

A. — La silice est fournie à l'état colloïdal 112

B. — La silice est fournie à l'état de silicate de potasse 117

CONCLUSIONS 121

BIBLIOGRAPHIE 127

BOSC Frères, M. & L. RIOU
IMPRIMEURS-ÉDITEURS
42, Quai Gailleton, 42
LYON